VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

ANALÝZA ŘÍDICÍCH PROCEDUR V SÍTÍCH EPS-IMS

CONTROL PROCEDURE ANALYSIS IN EPS-IMS NETWORKS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. Jan Šubrt
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — doc. Ing. Vít Novotný, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2017

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Telekomunikační a informační technika**
Ústav telekomunikací

Student: Bc. Jan Šubrt ***ID:*** 154891
Ročník: 2 ***Akademický rok:*** 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Analýza řídicích procedur v sítích EPS-IMS

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s mobilními sítěmi EPS a subsystémem IMS. Prostudujte základní řídicí procedury vztažené k činnostem terminálů v sítích EPS a v subsystému IMS. S dostupným vybavením realizujte dané procedury, zachyťte řídicí provoz a ten analyzujte. Využijte především experimentální síť EPS-IMS na ÚTKO FEKT VUT v Brně. Detailněji prostudujte problematiku nasazení služby VoLTE a analyzujte problémy s jejím nasazováním v sítích EPS. Na základě nabytých znalostí a dostupného vybavení navrhněte laboratorní úlohu pro předmět Komunikační prostředky mobilních sítí, sestavte a zprovozněte pracoviště a k úloze vypracujte návod.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] POIKSELKÄ, Miikka. Voice over LTE: VoLTE. Chichester: Wiley, ISBN: 978-1-119-95168-1, 2012.

[2] POIKSELKÄ, M., MAYER, G. The IMS: IP multimedia concepts and services. 3rd ed. Chichester: Wiley, 2009, xxviii, 502 s. ISBN 978-0-470-72196-4.

Termín zadání: 1.2.2017 ***Termín odevzdání:*** 24.5.2017

Vedoucí práce: doc. Ing. Vít Novotný, Ph.D.
Konzultant:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:
Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřená na řídící procedury v síti EPS a IMS. Nejprve jsou popsány jednotlivé systémy EPS a IMS. V další části práce je probrána teorie řídích procedur v síti EPS, jako jsou inspekce rádiového prostředí, náhodná přístupová metoda, identifikace uživatele, autentizace uživatele, zahájení šifrování, aktualizace polohy terminálu, vytvoření defaultního nosiče, realizace hovorové služby metodou CSFB a odpojení terminálu od sítě. V následujícím úseku jsou vysvětleny procesy asociované se subsystémem IMS, jedná se o registraci uživatele do IMS, vytvoření nosiče pro signalizaci v IMS a realizace hovorové služby VoLTE. Druhou hlavní náplní práce je problematika nasazení hlasové služby VoLTE v síti EPS, kde je mimo jiné popsána i metoda Circuit Switched Fallback pro podporu hlasové služby v sítích EPS, která se využívá, pokud není možné realizovat VoLTE. Všechny procedury zmíněny výše s výjimkou těch, které spolupracují s IMS byly zachyceny pomocí softwaru QualiPoc a Wireshark. V práci jsou tyto procedury zanalyzovány a na základě těchto zpráv je sestavena laboratorní úloha pro předmět MKPM.

KLÍČOVÁ SLOVA

EPS, LTE, VoLTE, CSFB, 2G, 3G, 4G, IMS, SIP, SDP, signalizace

ABSTRACT

The master thesis is focused on control procedures in EPS-IMS networks. Firstly the thesis describes systems IMS and EPS. The second part of thesis includes the theory of control procedures in EPS such as cell acquisition, random access procedure, identification of subscriber, authentication of subscriber, security procedures, tracking area procedure, default bearer creation, implementation of CSFB procedure and detach procedure. Processes related to subsystem IMS such as registration to IMS, bearer creation for IMS signalling and voice service VoLTE are the next part of thesis. The next main topic is the VoLTE implementation problematic and VoLTE cooperation with diverse terminals. There is also explained the principle of Circuit Switched Fallback for realization voice services in EPS without VoLTE service. All procedures mentioned above except of procedures which are related to IMS were captured and analyzed using software Wireshark and QualiPoc. The final part of the thesis is lab task creation based of the analyzed messages.

KEYWORDS

EPS, LTE, VoLTE, CSFB, 2G, 3G, 4G, IMS, SIP, SDP,signalling

ŠUBRT, J. *Analýza řídicích procedur v sítích EPS-IMS*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 96 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Vít Novotný, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Analýza řídicích procedur v sítích EPS-IMS“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne ....

(podpis autora)

SIX research centre
sensor, information and communication systems

Faculty of Electrical Engineering
and Communication

Brno University of Technology
Technicka 12, CZ-61600 Brno, Czechia

http://www.six.feec.vutbr.cz

Výzkum popsaný v této diplomové práci byl realizovaný v laboratořích podpořených projektem Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX); registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI

2007–13
OP Výzkum a vývoj pro inovace

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat doc. Ing. Vítu Novotnému, Ph.D za cenné rady, připomínky a odborné vedení při vypracovávání diplomové práce.

V Brně dne …….. .....

podpis autora

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ

SEZNAM TABULEK

ÚVOD

Mobilní sítě jsou v dnešní době pokrývají většinu civilizovaného světa a stále více žádány zákazníky, kteří potřebují být připojení kdykoliv a kdekoliv k síti. Díky stále se zdokonalující technologii a vyspělejším terminálům, kde si již uživatelé mohou například přehrávat videa v kvalitě HD a vyšší, roste také požadavek na síť, aby poskytla dané množství dat účastníkovi v co nejrychlejším čase.

Na vzdory tomu všemu co je napsáno výše, je zřejmé, že potřeba hlasové komunikace na dálku patřila vždy mezi nejdůležitější základní služby telekomunikačních sítí zaměřených na komunikaci mezi lidmi, tedy i v oblasti mobilních sítí. A ačkoli objemově je hlasová služba v současných integrovaných sítích ve srovnání s dalšími službami stále méně zastoupená, je v široké nabídce služeb nezastupitelná, a je jejímu zajištění v potřebné kvalitě i v těch nejmodernějších sítích věnováno nemalé úsilí.

Zdokonalování mobilních sítí s sebou přináší i mnoho výzev, které musí být vyřešeny. Jedna z takových výzev je co nejrychlejší a nejefektivnější komunikace jednotlivých prvků v celé síti operátora za účelem poskytnutí požadované služby uživateli. A právě výměnou zpráv mezi jednotlivými prvky v celé síti se zabývá tato diplomová práce.

Cílem práce je tedy seznámit čtenáře se základními procedurami v síti EPS, a to od skenování rádiového prostředí až po realizaci služby a odpojení terminálu od sítě.

Dále je diplomová práce zaměřena na řešení hovorové služby v rámci systému EPS (Evolved Packet System), někdy nesprávně označován jako LTE systém. V takovém případě se systém EPS neobejde bez pomoci systému IMS (IP Multimedia Subsystem). A právě proto by práce měla objasnit procedury související s IMS subsystémem. Velká část této práce se zabývá hovorovou službou VoLTE (Voice over LTE), kterou je řešen přenos hlasových služeb přes EPS systém. Čtenář by měl získat přehled o spolupráci systému IMS a EPS při využití metody VoLTE a pochopit chování systémů při řídicích procedurách. Jelikož nasazení služby VoLTE přináší mnoho úskalí, je nutné, aby síť umožňovala i jinou možnost přenosu hlasu pro uživatele, kteří jsou připojeny do sítě EPS a chtějí realizovat hlasovou službu. Proto se hojně využívá metoda Circuit Switched Fallback, které je v práci věnována nemalá pozornost.

V neposlední řadě je diplomová práce zaměřena na analýzu výše zmíněných procedur v síti veřejného operátora a v experimentální síti FEKT. Protože cílem diplomové práce je vytvoření laboratorní úlohy pro předmět MPKM, jsou jednotlivé zanalyzované zprávy využity za účelem vytvoření úlohy.

Diplomová práce je rozdělena do šesti hlavních částí. V první kapitole jsou uvedeny základní informace o systému EPS. V následující části práce je popsán systém IMS. Základní řídící procedury napříč systémem EPS jsou popsány ve třetí kapitole. Ve čtvrté kapitole je vysvětlena realizace a problematika implementace hovorové služby VoLTE. Dále se v této části nachází vysvětlení metody CSFB. Předposlední čtvrtá kapitola popisuje naměřené výsledky. Závěrečná kapitola popisuje vytvořenou laboratorní úlohu a její účel.

1 EVOLVED PACKET SYSTEM

Jak už z názvu vyplývá - Evolved Packet System, zkráceně EPS, je telekomunikační systém založený na přepojování paketů. Často je technologie EPS označována nesprávně jako LTE (Long Term Evolution). Zkratka LTE však představuje pouze rádiové rozhraní sítě EPS.

Jelikož starší generace poskytují hovor prostřednictvím přepojováním okruhů, je nutné zajistit spolupráci EPS s těmito generacemi. Pro realizaci hovoru je nutné, aby systém o hovoru věděl a přidělil mu dostatečně velkou prioritu před jinými službami.

V této kapitole bude popsána architektura systému čtvrté generace EPS a její funkce pro zaručení kvality služby. V této kapitole bylo čerpáno ze zdrojů [32],[1], [30].

1.1 Architektura

Architektura EPS byla navržena tak, aby její funkce reagovala na požadavek pro zvýšení propustnosti a snížení latence u datových služeb, což se odráží v redukci některých prvků v systému za účelem snížení celkového zpoždění. Při vývoji mobilních generací se postupně odstraňovaly uzly a jejich funkci přebíraly jiné už vylepšené uzly.

Architektura systému, která je zobrazená na Obr. 1.1, se skládá ze dvou hlavních bloků, a to z rádiové přístupové části v anglickém označována jako E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Access Network) nebo LTE (Long Term Evolution) a z paketového jádra systému neboli EPC (Evolved Packet Core).

Do rádiové přístupové části spadá imobilní terminál, zkráceně UE (User Equipment), pod kterým si lze představit mobilní telefon („chytrý“ telefon neboli smart phone), laptop, tablet atd. Uživatel pomocí UE s validní USIM (Universal Subscriber Identity Module) případně ISIM uloženou na UICC (Universal Integrated Circuit Card) může komunikovat se sítí přes základovou stanici eNodeB (evolved Node B).

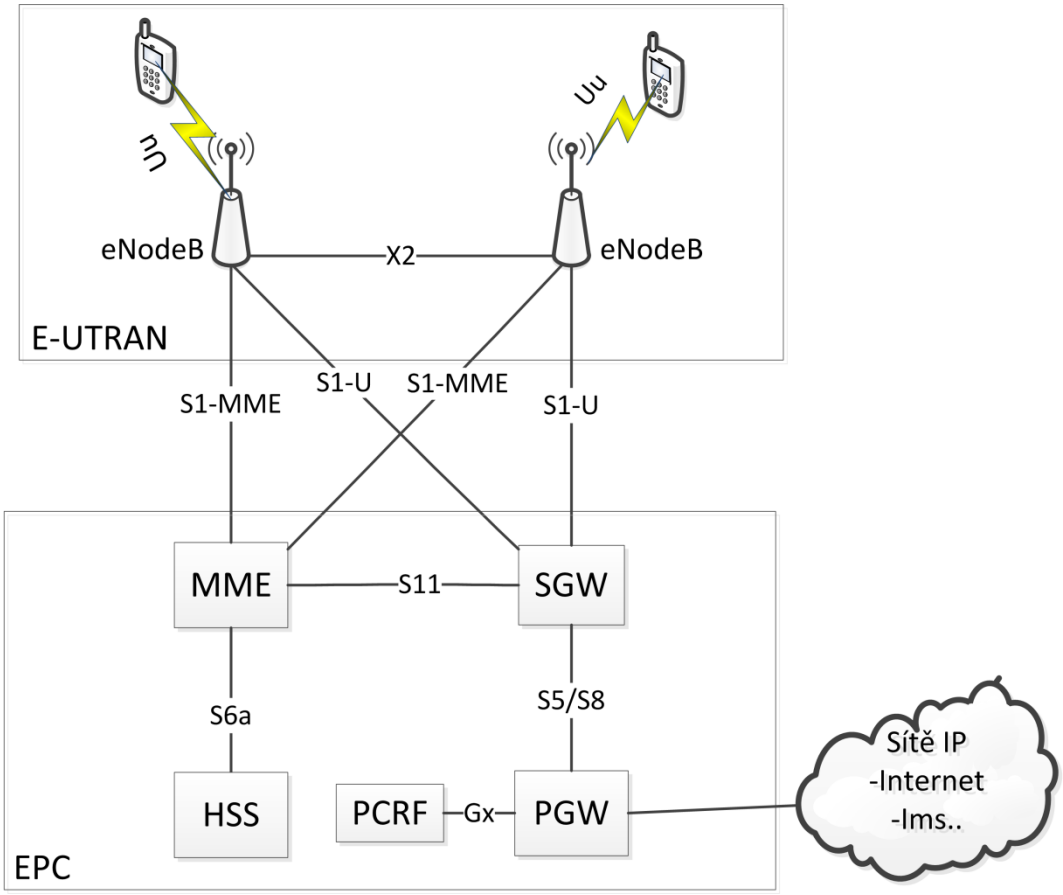
V E-UTRAN se tedy nachází pouze jeden element ze strany sítě, a to je eNodeB, který převzal funkci RNC a NodeB z předešlé technologie UMTS. Navíc jsou některé uzly eNodeB propojeny spojem X2, díky němuž jsou případné handovery z jedné základové stanice na druhou mnohem rychlejší. Mezi základní funkce eNodeB patří přidělováni rádiových kanálů účastníkům, rozhodnutí o učinění handoveru. Základnová stanice je pak dále připojena k EPC.

V páteřní síti už se již nenachází bloky pro okruhově komutovaný přenos, jak tomu bylo v předešlých systémech. Místo nich má EPS následující jednotky:

- MME (*Mobile Management Entity*) je hlavním řídicím prvkem sítě LTE. Zajišťuje ověřování totožnosti, kontrolu přístupu do sítě, komunikuje přímo s eNodeB. Dále se stará o šifrování pro zajištění odolnosti proti odposlechu. Místo čísla TMSI (*Temporary Mobile Subscriber Identity*), které se používá v GSM přiřazuje jednotka MME jednotlivým účastníkům číslo GUTI (*Global Unique Temporary Identity*). Toto číslo slouží pro ochranu

komunikace před odposlechem. Dále také sleduje pohyb účastníků.

- HSS (*Home Subscribe Server*) je databáze všech účastníků v síti a jsou zde uvedeny i informace o jejich oprávnění využívat různé služby. Důležité je, že HSS je spojena se všemi MME v síti a zasílá jim kopie uživatelských profilů. Také se tento blok stará o autentičnost.
- PCRF (*Policy controland Charging Rules Function*) dohlíží na kvalitu služeb,QoS (*Quality of Service*) dále na vyúčtování služeb.
- S-GW (*Serving Gateway*) a P-GW (*Packet data network Gateway, také PDN-GW*) jsou brány. S-GW zajišťuje směrovací funkce pro propojení systému EPS se staršími generacemi 2G a 3G. Zároveň směruje data mezi eNB a výchozí paketovou bránou P-GW. Kde P-GW, poskytuje propojení s externími paketovými sítěmi a EPC.



Obr. 1.1: Architektura systému EPS

1.2 Implementace Quality of Service v síti EPS

Velmi důležitou funkcí systému EPS je snaha o poskytování podpory kvality služeb realizovaných účastníkem v síti EPS. V dnešní době existuje několik skupin či tříd služeb s různými požadavky na přenos sítí. Například video služby jako streaming,

video chat, jsou citlivé na kolísání zpoždění, ale mohou si dovolit určitou ztrátovost paketů, naopak emailové služby jsou citlivé na ztrátovost paketů, ale kolísání zpoždění či celkové zpoždění není tak důležité. Pro službu VoLTE se musí EPS systém pokusit zaručit dostatečně krátkou dobu zpoždění i nízkou hodnotu jeho kolísání.

Proto, aby bylo možné od sebe odlišit různé požadavky na prostředky sítě, se využívá parametr QCI (QoS class identifier). QCI identifikátor se přiřazuje nosičům a určuje, jak s nimi má být dále v síti zacházeno. 3GPP organizace standardizovala některé QCI a přiřadila jim parametry, viz.Tab. 1.1.

Například tedy pro přenos hlasu se použije QoS třída číslo 1, pro kterou je nutné vytvořit nosič GBR (Guaranteed Bit Rate), který by měl garantovat průměrnou minimální datovou rychlost. Podle QCI priority mají jednotlivé pakety přednost před jinými, např. IMS signalizace bude zpracována ještě před pakety pro hlasovou službu.

Tab. 1.1: QoS class indetifiers od 3GPP TS23.203

QCI	Typ nosiče	Příklad služby	Ztrátovost paketů	Zpoždění [ms]	QCI priorita
1	GBR	Hlas živě	10^{-2}	100	2
2		Video chat	10^{-3}	150	4
3		Hraní her online	10^{-3}	50	3
4		Youtube	10^{-6}	300	5
5	Non-GBR	IMS signalizace	10^{-6}	100	1
6		email, chat, FTP (prioritní uživatelé)	10^{-6}	300	6
7		hlas, live video	10^{-3}	100	7
8		email, chat, FTP (méně prioritní uživatelé)	10^{-6}	300	8
9		email, chat, FTP (nejméně prioritní uživatelé)	10^{-6}	300	9

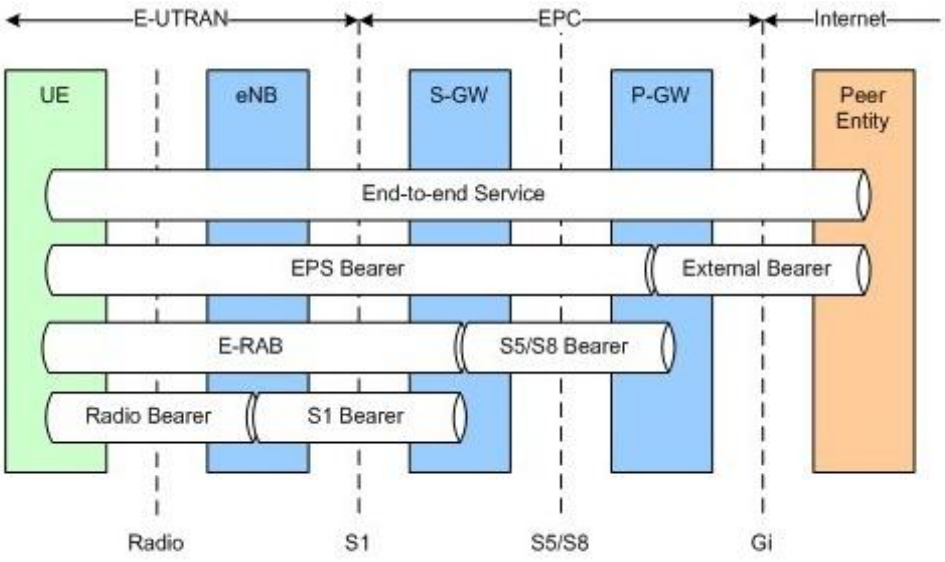
Systém dále pro podporu QoS (Quality of Services), využívá k přenosu paketů tzv. nosiče neboli bearers. Těmto nosičům se přiřazují jednotlivé QCI.

Vedle QCI parametru existují i další QoS parametry, které můžeme také najít v sestavených nosičích.

- ARP (Allocation and Retention Priority)slouží pro upřednostnění některých nosičů ke zrušení nebo modifikaci, z důvodu zahlcení sítě. Čím menší číslo, tím větší pravděpodobnost, že bude nosič zrušen.
- MBR (Maximum Bit Rate) určuje maximální rychlost, používá se jen pro nosiče s garantovanou rychlostí (GBR)
- APN-AMBR (Access Point Name - Aggregate Maximum Bit Rate) limituje maximální rychlost v rámci jednoho uživatelského zařízení pro všechny jeho nosiče vztahující se na jedno APN. Používá se u Non-GBR nosičích
- UE-AMBR (User Equipment - Aggregate Maximum Bit Rate) limituje maximální rychlost jednoho uživatelského zařízení pro všechny jeho nosiče dohromady.

EPS systém rozlišuje dva typy nosičů. První z nich, jenž se nazývá default bearer, se sestavuje pokaždé, když se zařízení připojuje do sítě. Tento typ nosiče se využívá pro služby, které neprobíhají v reálném čase, např. e-mail či prohlížení webu. Druhý typ nosiče, tzv. dedicated bearer, je sestaven, pokud služba, kterou zařízení chce využívat, vyžaduje speciální zacházení s pakety, které defaultní bearer s přiřazeným QCI nemůže zaručit. Jedná se například o hlasovou službu, pro kterou se vytvoří nový dedicated bearer s příslušným QCI v tomto případě QCI=1. Tyhle jednoúčelové nosiče sou svázány s defaultním nosičem. Tedy každý vyhrazený nosič (dedicated bearer) musí mít svého rodičovského defaultního nosiče, na který odkazuje. Důsledkem tohoto propojení je, že dedicated bearer sdílí adresu se svým rodičovským defaultním nosičem.

Na Obr. 1.2 je vidno, že samotný EPS nosič se skládá ze tří nosičů vytvořených mezi UE a eNB, eNB a SGW, SGW a PGW. Nosič v přístupovém rádiovém rozhraní společně s S1 nosičem může být označen jako E-RAB bearer (Evolved - Radio Access Bearer).



Obr. 1.2: Typy nosičů v EPS [31]

2 IP MULTIMEDIA SUBSYSTEM

IMS (IP Multimedia Subsystem) byl původně navržen v rámci vývoje mobilních sítí 3. generace pro poskytování obecně multimediálních služeb telekomunikačním operátorem, tedy i real-time služeb, a to v sítích libovolného typu, tedy i 3. generace s přepojováním paketů. Jelikož ale v této generaci je pro realizaci hovorových spojení stále přítomna doména pro přepojování okruhů, přes kterou se přenáší hovorové služby, nebylo nutné IMS implementovat. Lze tedy konstatovat, že tento subsystém slouží k poskytování IP multimediálních služeb (hovor, video hovor atd.) a využívá se kromě jiného i pro hovorové služby v mobilních sítích 4 generace. Pro signalizaci se v IMS využívá protokol SIP (Session Initiation Protocol). Zdroje informací k této kapitole jsou: [29], [33], [28], [13], [9].

2.1 Architektura

Struktura subsystému IMS je zpracována tak, aby dokázala umožnit IP multimediální služby napříč paketovou sítí nezávisle na přístupové technologii. Přístupová technologie může být například WLAN (Wirelless Local Area Network), LTE, DSL (Digital Subscriber Line) atd.

Základní funkční prvky subsystému jsou zobrazeny na Obr. 2.1. Z obrázku lze vypozorovat, že prvním kontaktem uživatele s IMS je uzel P-CSCF (Proxy Call Session Control Function), který spolupracuje s PCRF (Policy control and Charging Rules Function) a přeposílá informace díky kterým může uzel PCRF vygenerovat IP QoS parametry a také potřebné informace na uplatnění účtovací politiky. Dalšími úkoly pro P-CSCF jsou např. komprese SIP paketu, aplikování protokolu IPSec, detekování nouzového volání a přeposlání takového požadavku na uzel E-CSCF (Emergency Call Session Control Function), který zpracovává požadavky na nouzová volání.

Dalším prvkem je I-CSCF (Interrogating Call Session Control Function), který má za úkol zjistit pomocí HSS (Home Subscriber Server), komu má dále předat paket, a to buď S-CSCF (Serving Call Session Control Function) nebo AS (Aplication Server). I-CSCF dále obstarává přiřazení příslušného uzlu S-CSCF opět na základě uživatelských informací z HSS. Tento děj nastává např. při registraci uživatele.

S-CSCF je centrální uzel v IMS subsystému, který se stará o registraci uživatele při které využívá databáze HSS, ze které si stáhne všechny potřebné informace o uživateli. Dále je uzel zodpovědný za směrování, převádí adresy uživatelů na SIP URI (Universal Resource Identifier). Adresami uživatelů je myšleno například číslo MSISDN (Mobile Subscriber ISDN Number), přes které adresuje volající účastník volaného.

E-CSCF je prvek v sítí IMS, který je určen pro volání označována jako nouzová. Úkolem tohoto uzlu je tedy po přijetí požadavku o nouzový hovor od P-CSCF správně nasměrovat tuto žádost o nouzové volání k odpovídajícímu PSAP (Public Safety Answering Point) centru. PSAP centr se volí na základě lokace volajícího a požadovanéslužby (hasiči, policie, záchranná služba).

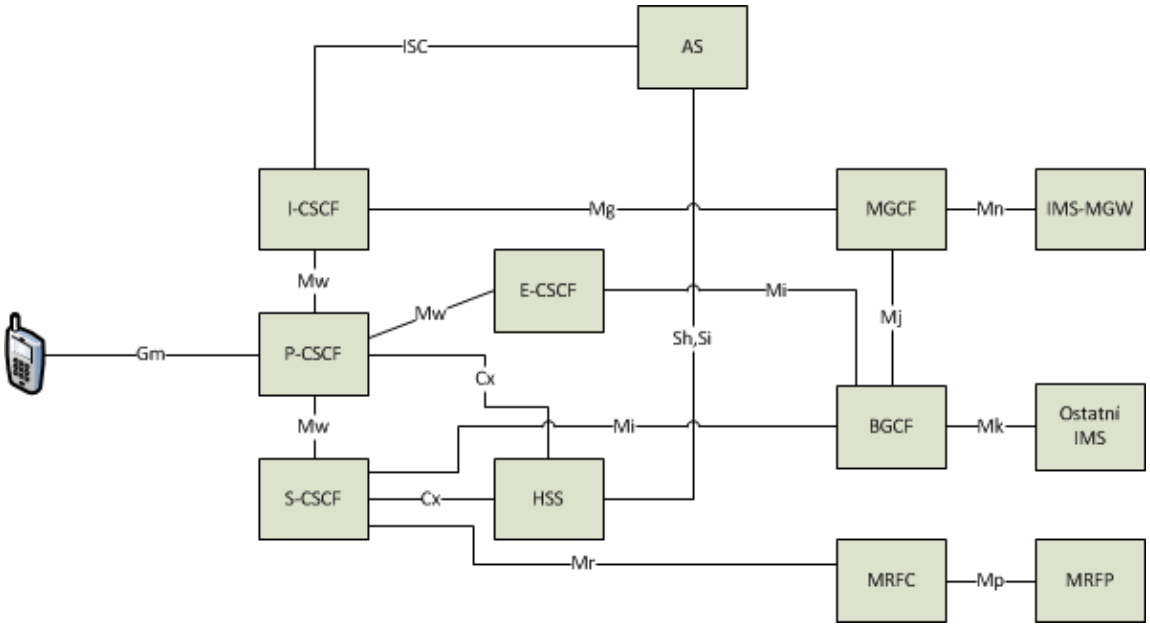
HSS je databáze, ve které jsou uloženy údaje jako identita uživatele, poloha uživatele, speciální uživatelské požadavky na S-CSCF a další. Tato databáze je společná pro všechny uživatele a může se vyskytovat v domácí síti i vícekrát. Pro komunikaci s HSS serverem se používá protokol DIAMETER.

BGCF (Breakout Gateway Control Function) je entita, která se podílí na spoluprácis CS (Circuit Switched) doménou(např. ISDN). BGCF přijímá zprávy o přenesení relace do CS domény od entity S-CSCF. Na samotném uzlu je pak určit, zdali se přechod do sítě s přepojováním okruhů nachází ve stejné síti či nikoliv a na základě toho rozhodnutí přeposlat zprávu buď uzlu BGCF do jiné sítě, nebo uzlu MGCF (Media Gateway Control Function) do sítě stejné.

MGCF je prvek, který už se stará o samotnou konverzi mezi signalizačními protokoly používané v IP sítích a CS sítích. Konkrétně tedy mezi SIP protokolem a ISDN User Part (ISUP). Dále je MGCF propojena rozhraním Mn s MGW (Media Gateway) a kontroluje přiřazení prostředků po tuto bránu, která přenáší samotná uživatelská data mezi IMS a CS.

MRFC (Media Resource Function Controller) a MRFP (Media Resource Function Proccesor) jsou využívány pro služby jako multimediální konference nebo například poskytují konverzi mezi jednotlivými kodeky. Konkrétně jednotka MRFC se chová jako User Agent a řídí SIP komunikaci mezi S-CSCF a AS (Application Server). MRFP na rozdíl od MRFC pracuje na uživatelské rovině tedy přímo s daty. Mezi jeho úkoly patří například analýza médií, překódování audia a další.

Z Obr. 2.1 sice není patrné, že aplikační servery už nejsou entity, které by ležely přímo v IMS subsystému. Je ale nutné si tuto skutečnost uvědomit. Díky AS je možné poskytnout služby jako je například volání, hlasová schránka atd. Tyto entity mimo jiné umožňují vygenerovat SIP žádost o službu, poslat informace centru pro účtování a dokážou zpracovat příchozí SIP zprávy od IMS. Pro hlasové služby se používá tzv. TAS (Telephone Application Server).



Obr. 2.1: IMS architektura

2.2 Identifikace uživatele

Pro identifikaci uživatele se v systému IMS používá tzv. veřejná identita uživatele a privátní identita uživatele. Tyto informace jsou důležité zejména pro registraci účastníka do IMS a pro administrativní a účtovací účely.

2.2.1 Privátní identita uživatele

Privátní identita uživatele neboli IP Multimedia private user identity (IMPI) je přidělena přímo od operátora a je uložena v ISIM. Tato jednoznačná globální identifikace se nevyskytuje v téměř žádných SIP zprávách ale pouze při registraci uživatele. Díky privátní identifikaci může síť uživatele autentizovat. Dále může být Private User Identity využita pro administrativní, účtovací účely. IMPI se dá přirovnat k IMSI (International Mobile Subscriber Identity), což je jednoznačný identifikátor uživatele v síti 2G/3G/4G.

2.2.2 Veřejná identita uživatele

Používá se při inicializaci spojení s druhými uživateli. Tato identifikace uživatele je veřejně dostupná. Může být ve tvaru URI nebo URL (Uniform Resource Locator). IMPU (IP multimedia public identity), je vlastně něco podobného jako email nebo telefonní číslo, které identifikuje účastníka. Uživatel nemůže požadovat spojení s jinými uživateli bez toho, aniž by se předtím registroval svou veřejnou identifikaci. Je možné, aby účastník měl několik veřejných identit na jedno zařízení. Dříve bylo nutné vykonat registraci pro každou veřejnou identitu uživatele zvlášť, což bylo časově velmi neefektivní. Proto byl vydán update, při kterém může účastník zaregistrovat více svých veřejných identit najednou za použití tzv. implicitní registrace.

3 ZÁKLADNÍ ŘÍDICÍ PROCEDURY

V následující kapitole bude probrána signalizace jednotlivých řídicích procedur v sítích EPS. K tomu, aby uživatelské zařízení mohlo vůbec zažádat o službu v síti operátora, musí terminál nejprve sestavit spojení s příslušným eNodeB. Až k samotnému vykonání služby (např. hovorové služby) existuje od spuštění terminálu řada procedur. Jedná se o následující procedury: inspekce rádiového okolí terminálem, výběr sítě vhodného operátora, výběr nejvhodnější buňky, prvotní náhodný přístup, samotné zažádání o službu, se kterou jsou spojeny další procedury jako je např. autentizace účastníka. V této kapitole budou detailněji popsány procedury, jako jsou např. průzkum rádiového prostředí, přihlášení do sítě, aktualizace polohy terminálu atd. V této kapitole je čerpáno ze zdrojů:[1], [16], [22], [23], [15].

3.1 Vyhledávání buňky po zapnutí terminálu

Po zapnutí terminálu se provede prozkoumání frekvencí, na kterých je schopný komunikovat a pokusí se synchronizovat s příslušnou buňkou. V případě, kdy má terminál uložené informace o používaných nosných, či třeba i identifikátorů buněk například z předešlého měření nebo předešlé relace, začne prohledávání okolí právě s těmito hodnotami. Zařízení se pokusí najít buňku v síti EPS, pokud se však v jeho okolí žádná nenachází, přepne na vyhledávání v síti 2G/3G. Tento proces lze nazvat jako tzv. Cell Search.

Proto, aby bylo zařízení schopno dekódovat kanál PBCH (Physical Broadcast Channel), ze kterého dokáže poté vyčíst zprávu MIB (Master Information Block), musí nejprve najít tzv. PSS (Primary Synchronization Signal).

Jeden rádiový rámec je rozdělen na subrámce, jak je patrné z Obr. 3.1. PSS slouží k synchronizaci na úrovni subrámců a nachází se v prvním (subframe 1) a šestém (subframe 6) subrámci. Druhý synchronizační signál tzv. SSS (Secondary Synchronization Signal) už obsahuje např. PCI (Physical Cell Identity), mód přenosu (TDD nebo FDD) a také slouží pro synchronizaci celého rádiového bloku. SSS je umístěn stejně jak PSS jen o jeden resource block před, tedy v resource bloku (slotu) 5 a také se opakuje v šestém subrámci. Pokud tedy uvažujeme rozšířenou délku cyklického prefixu (CP) v opačném případě se synchronizační signály SSS a PSS posunou o jeden resource blok. Tedy na pozice 6 a 7.

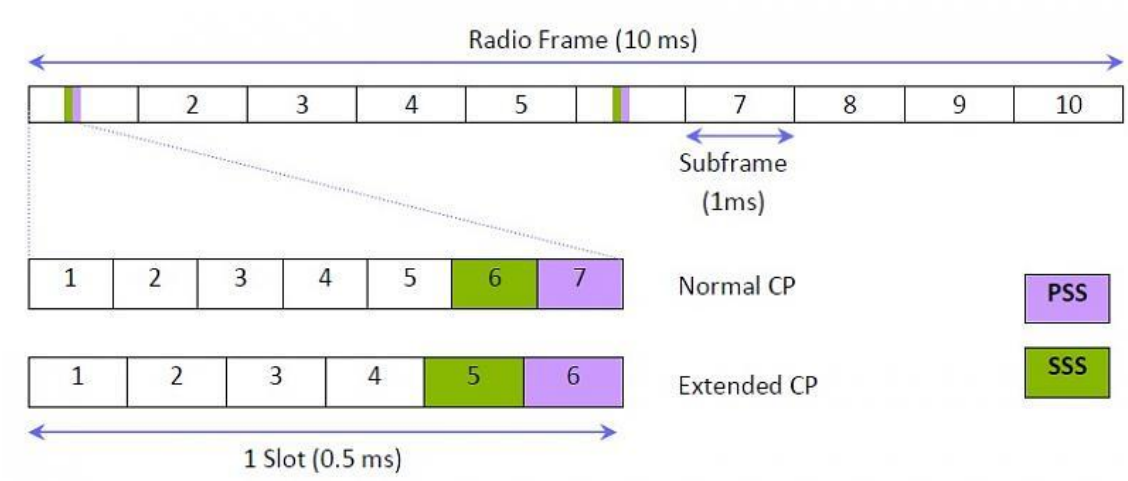
Dále zařízení začne přijímat referenční signály od buněk. Jsou to tzv. CRS (Cell Specific Reference Signal), které obsahují např. informaci o úrovni signálu, informace o amplitudě a fázi pro tzv. koherentní příjem. Referenční signály jsou dále využívány i pro selekci, reselekci a handover.

Dalším krokem je přijmutí zprávy MIB z fyzického kanálu PBCH. V tomhle master bloku jsou informace jako šířkakanálu ve směru downlink, bity nutné pro synchronizaci UE s eNodeB,a nakonec další důležitá věc která se přenáší v MIB, je PHICH (Physical Hybrid-ARQ Indicator Channel)konfigurace, díky které může terminál přijímat zprávy z kanálu PCFICH (Physical Control Format Indicator

Channel). Jakmile terminál zjistí, kolik symbolů je rezervováno pro různé kanály PCCH (Physical Control Channels) a kolik pro přenos dat, dokáže přijímat zprávy SIB (System Information Blocks) z PDSCH (Physical Downlink Shared Channels). Díky těmto informacím ze SIB se může zařízení rozhodnout, zdali se pokusí připojit k této buňce, či nikoliv.

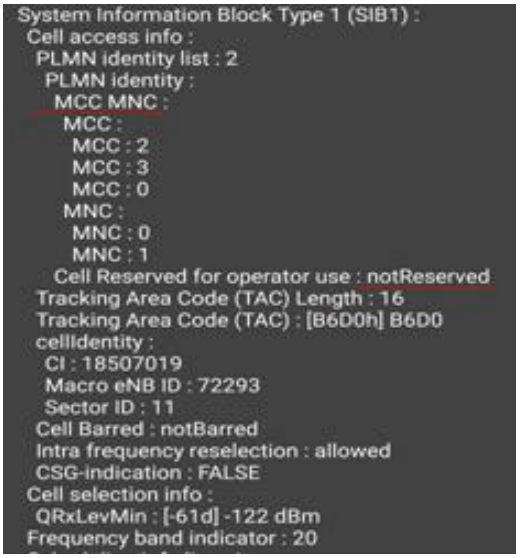
Parametry související s přístupem k buňce ve zprávách SIB jsou například:

- Cell reserved – určuje, zdali se na buňku může či nemůže připojit zařízení
- PLMN identity - identifikátor operátora např. T-mobile
- q-RXlevmin - minimální síla signálu nutná k připojení k buňce
- q-Qualmin- minimální kvalita signálu nutná pro připojení k buňce



Obr. 3.1: Umístění PSS v rádio rámci[36]

Z informačního bloku SIB 1 (Obr. 3.2) lze vyčíst MCC (Mobile Country Code) který je pro ČR 230. Dále se v bloku nachází MNC (Mobile Network Code), který je roven 01 a odpovídá tak síti T-Mobile. Následující parametr udává, že buňka není rezervována jen pro účely operátora a je tak přístupna komerčnímu využití.



Obr. 3.2: Systémový informační blok SIB-1=System Information Block Type 1

3.2 Náhodná přístupová metoda

Po nalezení buňky, ke které je možné připojení daného terminálu. Následuje sestavení spojení UE s eNodeB a to skrze náhodnou přístupovou metodu. Tzv. Random Access procedure se používá pokaždé, kdy terminál potřebuje přiřadit prostředky pro komunikaci se sítí. Pokud je UE ve stavu RRC_IDLE znamená to, že jen naslouchá informačním zprávám od eNodeB a negeneruje žádný provoz ve směru k základnové stanici. Opakem předešlého stavu je mód RRC_CONECTED, kdy je pro přechod z IDLE do CONECTED využita právě metoda náhodného přístupu pro získání potřebných kanálu za účelem určité služby, např. VoLTE, přenosu dat, aktualizace polohy atd.

3.2.1 Náhodná přístupová metoda se soupeřením

V systému EPS jsou možné dva způsoby implementace přístupu k síti. První z nich se nazývá Contention based Random Access Procedure, která se používá zejména pro přechod terminálu do stavu RRC_CONECTED ze stavu RRC_IDLE.

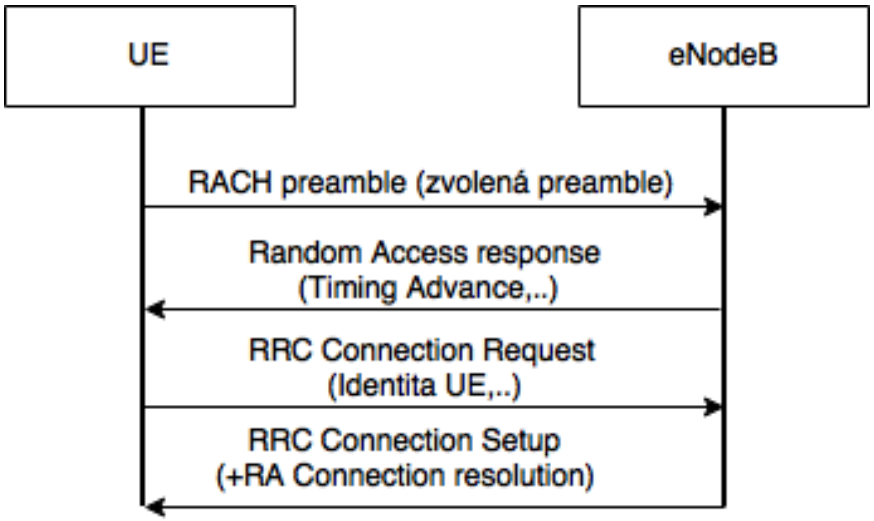
Princip je založen na různých sekvencích (preambulí), které jsou předdefinovány sítí a šířeny v informačním bloku SIB2. Terminál si náhodně zvolí jednu preambuli z celkem 64 vzorů. Pokud se tedy v oblasti nachází více terminálů, je možné, že si dva či více zvolí stejnou preambuli a vyšlou zprávu ve stejný čas, čímž dojde ke kolizi.

Celá výměna zpráv mezi UE a eNodeB je zobrazena na Obr. 3.3. Terminál zašle zprávu přes PRACH (Physical Random Access Channel), která obsahuje zvolenou preambuli a parametr RA-RNTI (Random Access - Radio Network Temporary Identifier). Pokud nedostane terminál odpověď do vypršení časovače, zvýší svůj výkon a odešle zprávu znova. Tento proces se může opakovat až do doby dosáhnutí maximálního výkonu, nebo je dosažen maximální limit odeslaných zpráv přes kanál PRACH.

Základnová stanice odpovídá zprávou RANDOM ACCESS RESPONSE kanálem DLSCH (Downlink Shared Channel). Ve zprávě jsou obsaženy informace jako alokované zdroje pro uplink, dočasná identifikace C-RNTI (Cell Radio Network Temporary Identity) a informace pro vysílání v dostatečném předstihu dle vzdálenosti UE od eNodeB. Nakonec terminál dostane možnost využít kanál UL-SCH (Uplink-Shared Channel).

Jako další krok si UE uloží C-RNTI, aplikuje vysílání v dostatečném předstihu a využije přiřazený kanál pro zaslání zprávy RRC CONNECTION REQUEST. Tato zpráva obsahuje identifikátor zařízení, což je buď TMSI nebo náhodně vygenerované číslo. Po zaslání této zprávy si terminál vygeneruje určitý časový interval, do kterého musí přijmout odpověď.

V další části přijme zprávu RRC CONNECTION SETUP, se kterou se přenáší konfigurace pro rádiové rozhraní a také zpráva pro MAC vrstvu CONTENTION RESOLUTION, která obsahuje identifikátor zařízení, vygenerovaný terminálem v minulém kroku. Po porovnání zaslaného identifikátoru s přijatým, se jednotlivé terminály dozví, zdali nedošlo ke kolizi s jiným terminálem při navazování spojení přes kanál RACH. Pokud vyprší časovač pro příjem zprávy RRC CONNECTION SETUP, zahájí proces náhodného připojení do sítě znovu od začátku.



Obr. 3.3: Náhodná přístupová metoda se soupeřením

3.2.2 Náhodná přístupová metoda bez soupeření

Jako další možnost přiřazení potřebných prostředků pro UE za účelem komunikací se sítí se používá tzv. Random Access Procedure Contention Free. Při průběhu metody bez soupeření sama síť zvolí preambuli pro terminál. To znamená, že se vylučuje kolize vyskytující se ve výše popsané metodě, ale zároveň musí být terminál ve stavu RRC CONECTED. Z čehož lze odvodit, že metoda bez soupeření se využívá zejména při handoverech, nebo při příchodu dat pro UE.

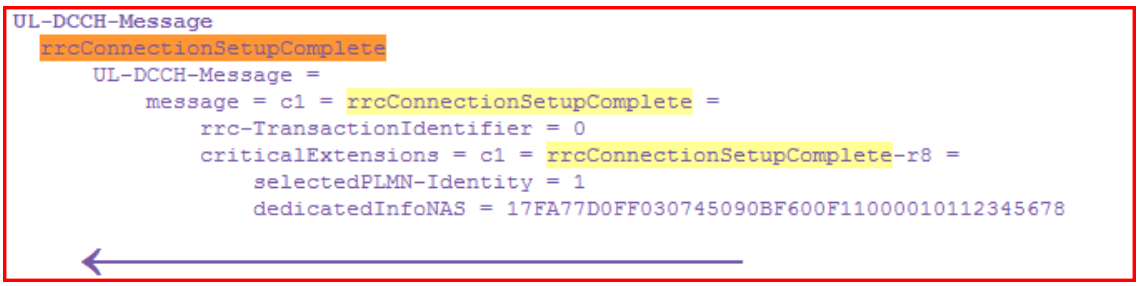
3.3 Přechod terminálu do připojeného stavu

V předešlé kapitole 3.2 byla popsána procedura RA (Random Access), na kterou navazuje právě dokončení sestavení rádiového spojení mezi UE a eNodeB.

Jakmile tedy terminál najde buňku s odpovídajícími vlastnostmi, synchronizuje se, započne náhodnou přístupovou metodu a získá prostředky pro komunikaci se sítí, dále zahájí proceduru nazývanou jako RRC (Radio Resource Control) connection establishment. Z Obr. 3.3 je patrné, že samotný RRC proces začíná během procedury RA a to zprávou RRC Connection Request ve které je mimo jiné sděleno proč UE potřebuje sestavit spojení (parametr: Establishment cause). Tato zpráva je zaslána sdíleným kanálem pro uplink UL-SCH.

Terminál dále přijme zprávu RRC Connection Setup, která obsahuje potřebné informace k sestavení SRB1 (Signal Radio Bearrer 1) a konfiguraci protokolu pro rádiový přenos.

Jako poslední krok zašle terminál zprávu do sítě RRC Connection Setup Complete, kde je uvedena zvolená PLMN identita, viz Obr. 3.4. PLMN se skládá z MCC a MNC tzn. že identifikuje operátora v dané zemi. Další přenášený objekt se nazývá DedicatedInfoNas, který se přeposílá k MME. Tento objekt v sobě nese zprávy pro MME. Může to být například zpráva ATTACH REQUEST, která bude popsána v další kapitole.



Obr. 3.4: Zpráva RRC connection setup complete[24]

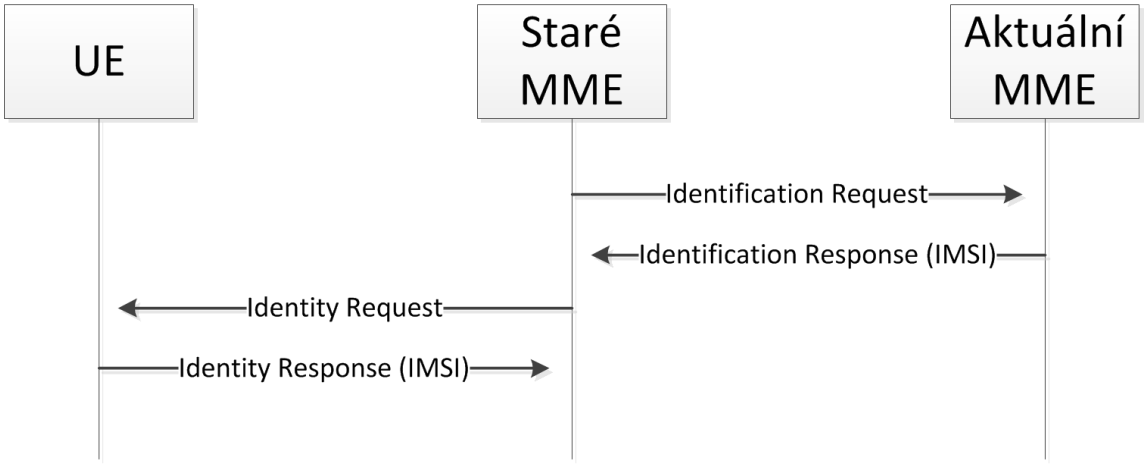
3.3.1 Identifikace uživatele

V průběhu registrace uživatele do EPS proběhne několik základních procedur. A to identifikace UE, autentizace, aktualizace polohy terminálu a vytvoření defaultního nosiče.

Celý proces registrace začíná zprávou Connection Setup Complete, která obsahuje zprávu ATTACH REQUEST a je zaslána za účelem registrace uživatele do sítě a zároveň vyžaduje v sekci PDN Connectivity Request vytvoření defaultního nosiče.

Následuje proces identifikace uživatele, viz Obr. 3.5. Zde záleží na tom, zdali se terminál připojuje ke stejnému MME, ke kterému byl připojen předtím, než se odpojil od sítě, anebo se připojuje k novému. Pokud se terminál připojuje k novému uzlu MME, musí si tento uzel vyžádat od starého jednoznačnou identifikaci uživatele IMSI.

Stávající MME nalezne informace o starém MME na základě GUTI (Globally Unique Temporary Identity) a vyšle k němu požadavek Identification Request. Může nastat situace, kdy MME už nemá uchované záznamy pro dané GUTI a v takovém případě je uzel MME nucen obrátit se s požadavkem o IMSI samotné UE.

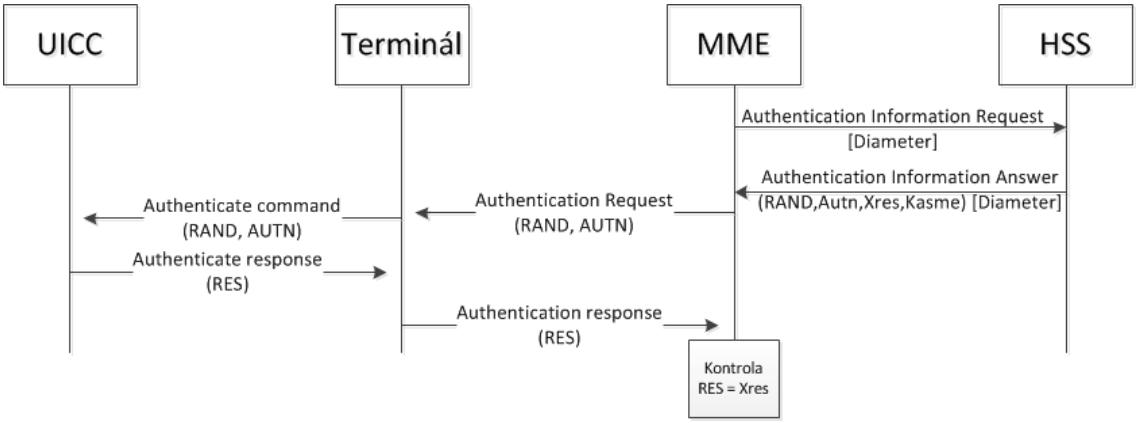


Obr. 3.5: Proces identifikace

3.3.2 Autentizace uživatele a sítě

Dalším krokem registrace je autentizace uživatele a sítě, viz Obr. 3.6. Entita MME si vyžádá na základě IMSI získaného z minulého kroku parametry a klíče nutné k autentizaci. Zpráva Authentication Information Request se posílá uzlu HSS a využívá se protokol DIAMETER. Tento blok vypočítá na základě odpovídajícího čísla K čtyři parametry, které se posílají zpět MME. Mezi tyto parametry patří náhodně vygenerované číslo RAND, z tohoto čísla se pomocí algoritmu vypočítá očekávaná odpověď XRES (Expected Response). Další parametr je tzv. AUTN (Authentication Token), který slouží pro ověření pravosti sítě.A poslední přenášenou informací v odpovědi Authentication Information Response od HSS k MME, je klíč K_{ASME} pro pozdější ochranu přenášených dat.

Jakmile MME přijme všechny parametry, přepošle autentizační token a náhodné číslo RAND terminálu. Ten zkontroluje pravost sítě na základě AUTN a vypočítá z čísla RAND a čísla K uloženého na UICC odpověď RES. Tuto odpověď pošle zprávou Authenticate Response zpět MME. Tato jednotka porovná parametry XRES a RES a pokud jsou stejné, je proces autentizace považován za úspěšný.



Obr. 3.6: Proces autentizace

3.3.3 Zahájení šifrování komunikace

Při šifrování rozlišujeme dvěúrovně komunikace. A to buď komunikace mezi UE a MME (Non Access Stratum), nebo mezi UE a eNodeB (Access Stratum). Zahájení šifrování tedy probíhá pro oba režimy separátně.

Hned po procesu autentizace následuje domluva pro šifrování na úrovni NAS (Non Access Stratum). Uzel MME vypočítá na základě čísla K_{ASME} šifrovací klíč K_{NASenc} a klíč K_{NASint} pro zaručení integrity. Dále pošle zprávu Security Mode Command pro UE tato zpráva není zatím šifrovaná ale je zaručena její integrita.

Terminál poté také vypočítá z klíče K_{ASME} své čísla K_{NASenc} a K_{NASint}, a odešle zprávu Security Mode Complete, která je již i šifrovaná. Nyní jsou zprávy pro komunikaci mezi UE aMME šifrovány a je zaručena jejich integrita.

Pro zaručení bezpečné komunikace na úrovni Access Stratum vygeneruje uzel MME z klíče K_{ASME} nový klíč K_{eNB} a pošle zprávu Initial Context Setup request pro eNodeB. Od tohoto okamžiku je proces téměř totožný s výše popsaným. Základnová stanice vygeneruje klíče pro integritu a šifrování, zašle zprávu terminálu pro zahájení bezpečné komunikace. Ten také vygeneruje klíče pro bezpečný přenos a potvrdí tuto skutečnost již zabezpečenou zprávou Security Mode Complete.

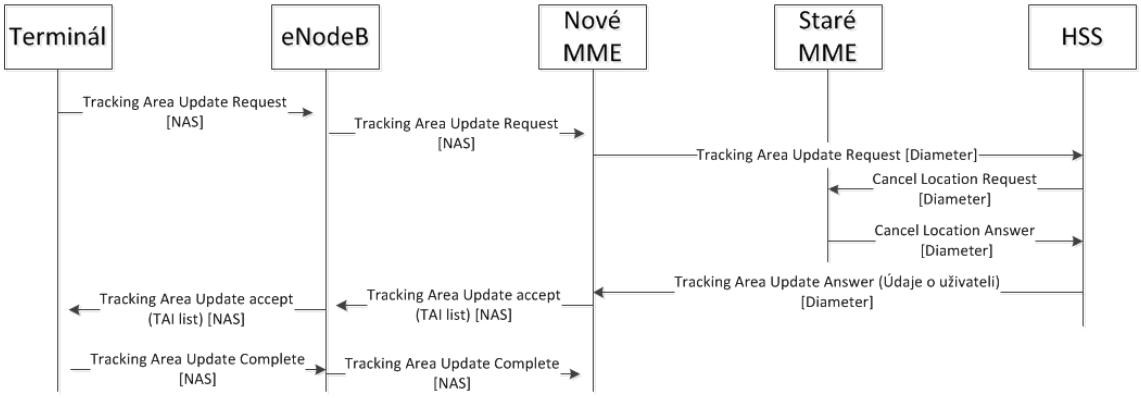
3.3.4 Aktualizace polohy uživatele

Proto, aby si síť udržela přehled o tom, kde se daný uživatel zhruba nachází a mohla ho v případě potřeby (např. příchozí hovor) kontaktovat, slouží proces aktualizace polohy terminálu. Jednotlivé buňky či seskupení buněk mají přiřazen kód oblasti, do které spadají. Tento parametr je označen jako TAC (Tracking Area Code) a je přenášen v systémovém informačním bloku 1. Příklad rozdělení buněk do oblastí je zobrazen na Obr. 3.7.

Obr. 3.7: Rozdělení buněk dle TA[25]

V praxi to funguje tak, že UE dostane od sítě takzvaný TAI (Tracking Area Identity) list, kde TAI je složeno z PLMN ID (MCC+MNC) a TAC. Tento list se posílá ve zprávě ATTACH ACCEPT, a oznamuje terminálu, ve kterých oblastech se může pohybovat bez aktualizace polohy. Pokud se však terminál dostane do oblasti s jiným TA kódem, než který má ve svém TAI listu, musí zahájit proces aktualizace. Terminál začne proceduru zprávou TRACKING AREA UPDATE a zašle ji MME. Tento uzel se postará o aktualizaci záznamů v uzlu HSS. Jakmile se HSS dozví o nové poloze terminálu, informuje o tom MME, které se staralo o oblasti ve kterých se již UE nenachází. Nakonec HSS pošle novému MME záznamy o uživateli. Například jaké služby má předplacené. MME poté potvrdí úspěšnou aktualizaci polohy terminálu a pošle mu nový TAI list. Celý proces aktualizace je zobrazen na Obr. 3.8.

Může nastat i situace kdy se terminál pohyboval jen v oblastech, kde nemusí aktualizovat svou polohu, ale přesto zahájí proces aktualizace. Ve většině případů se jedná o periodickou aktualizaci polohy a to z důvodu aby síť věděla, že mobilní zařízení je stále připojeno k síti a je schopno přijímat data. Ale existují i jiné případy, při kterých terminál inicializuje TA update v oblastech, kde nemusí aktualizovat svou polohu a to například při reselekci z 2G/3G sítě do EPS nebo při neočekávaném chování sítě.



Obr. 3.8: Procedura Tracking area update

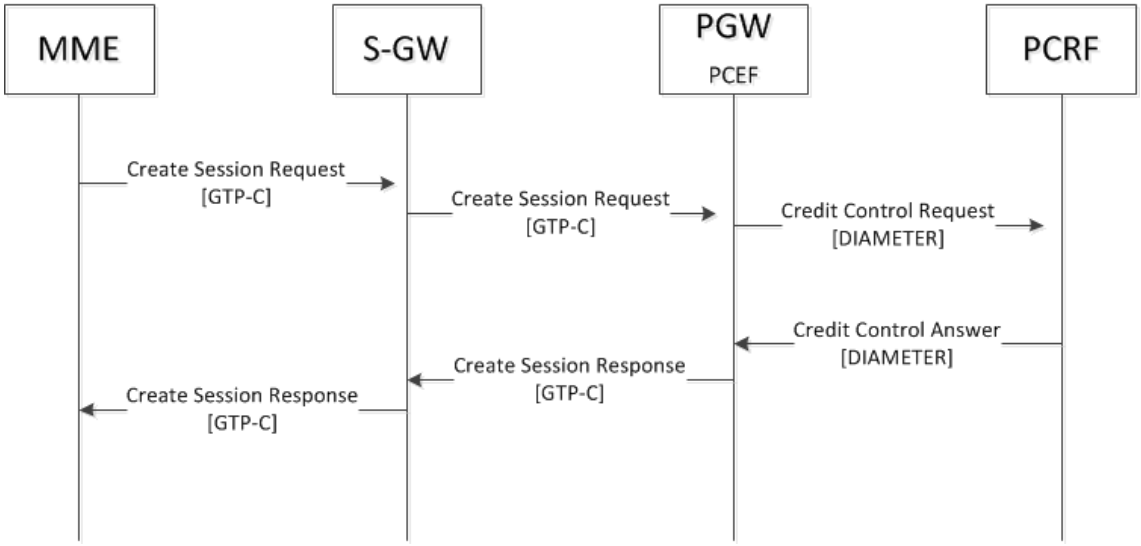
3.3.5 Vytvoření defaultního nosiče

Jak již bylo zmíněno v kapitole 1.2, při připojení terminálu do sítě se vytváří defaultní nosič. Tento nosič se potom dá modifikovat dle potřeby, nebo se vytváří nový nosič. Pokud tedy UE bude využívat IMS a zároveň se chce připojit na internet, bude mít dva defaultní nosiče. Celý proces vytvoření defaultního nosiče je zobrazen na Obr. 3.9.

Nejprve uzel MME zvolí bránu P-GW podle preferovaného APN (Access Point Name), které uzel obdržel ve zprávě UPDATE LOCATION ANSWER od uzlu HSS. MME zašle zprávu CREATE SESSION REQUEST uzlu P-GW, ve které udává svou IP (Internet Protocol) adresu, TEID (Tunnel Endpoint Identifier), účastníkovo IMSI a další parametry.

Uzel S-GW si vytvoří záznam pro nový nosič a přeposílá žádost k P-GW. Tento uzel přiřadí IP adresu terminálu a vyžádá si od PCRF informace ohledně aplikování QoS na daný nosič a také získá informace ohledně účtování služby. Tento proces s využitím PCRF a protokolu Diameter se nazývá IP-CAN Session Establishment.

Zprávu CREATE SESSION RESPONSE s přiřazenou IP adresou pro UE, definovanými pravidly pro QoS a své TEID pro pozdější směrovací účely pošle P-GW zpět k S-GW. Tento uzel už jen přepošle zprávu zpět k MME avšak se změněným TEID pro označení cesty k S-GW a využití linky S1-U mezi eNodeB a S-GW.



Obr. 3.9: Vytvoření defaultního nosiče první část

Nyní se musí připravit defaultní nosič i v rádiové části, tedy v E-UTRAN. Tento proces začíná odpovědí na zprávu ATTACH REQUEST z3.3.Celá procedura je zobrazena na Obr. 3.11.

Uzel MME v podstatě posílá tři zprávy v jedné. První zpráva ACTIVATE DEFAULT BEARER CONTEXT REQUEST odpovídá na žádost o vytvoření spojení s P-GW ze zprávy ATTACH REQUEST a obsahuje informace ohledně vytvořeného nosiče (APN, identifikaci nosiče, přiřazené IP adresy). Druhá zpráva ATTACH ACCEPT indikuje úspěšné připojení UE do sítě a je to odpověď na zprávu ATTACH REQUEST. Dále se v této zprávě nachází TAI list, EPS mobile identity. Třetí zpráva je INITIAL CONTEXT SETUP REQUEST. Obsah této zprávy je zobrazen na Obr. 3.10,

kde E-RAB ID identifikuje nosič mezi uzly UE, eNodeB a S-GW viz, Obr. 1.2. Poslední zvýrazněný atribut GTP-TEID je identifikátor S-GW jakožto konce vybudovaného tunelu.

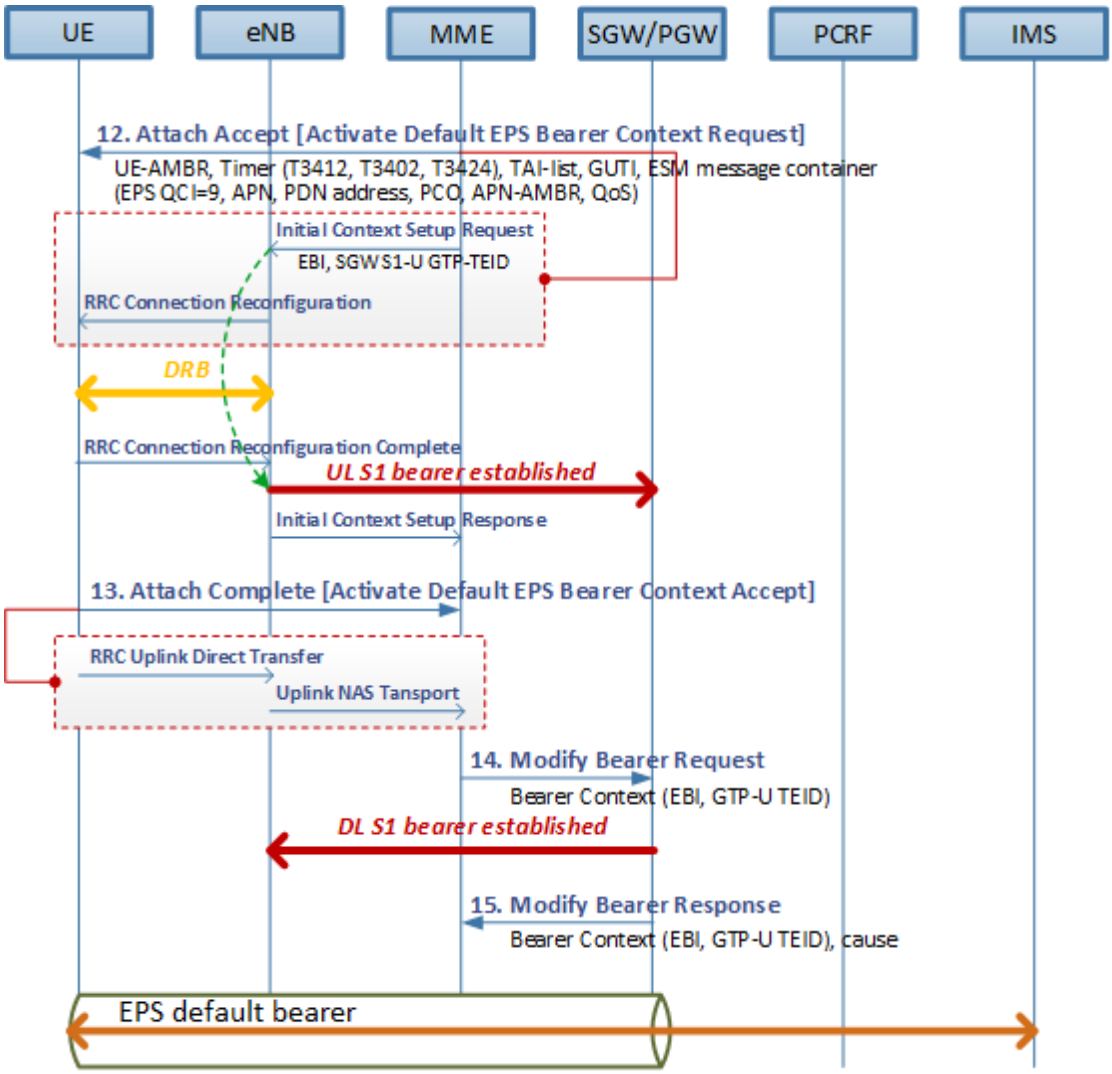
Uzel MME přepošle zprávy ACTIVATE DEFAULT BEARER CONTEXT REQUEST, ATTACH ACCEPT uživatelskému zařízení. Tyto zprávy jsou zapouzdřené ve zprávě RRC CONNECTION RECONFIGURATION, která se posílá za účelem sestavení nových nosičů. Jakmile terminál pozmění své spojení s eNodeB dle předchozí zprávy, pošle potvrzení RRC CONNECTION RECONFIGURATION COMPLETE. Od této chvíle je kompletně vybudován nosič ve směru uplink. Poté, co zprávu přijme eNodeB odpoví uzlu MME na jeho předchozí žádost. V této odpovědi INITIAL CONTEXT SETUP RESPONSE se nachází TEID eNodeB pro pozdější správné nastavení nosiče ve směru downlink. Jako poslední krok této fáze pošle terminál zprávu ATTACH COMPLETE ve které informuje MME, že byl defaultní nosič aktivován.

```
⊟ InitialContextSetupRequest
  ⊟ protocolIEs: 8 items
    ⊞ Item 0: id-MME-UE-S1AP-ID
    ⊞ Item 1: id-eNB-UE-S1AP-ID
    ⊟ Item 2: id-uEaggregateMaximumBitrate
      ⊟ ProtocolIE-Field
          id: id-uEaggregateMaximumBitrate (66)
          criticality: reject (0)
        ⊟ value
          ⊟ UEAggregateMaximumBitrate
              uEaggregateMaximumBitRateDL: 104857000
              uEaggregateMaximumBitRateUL: 52428000
    ⊟ Item 3: id-E-RABToBeSetupListCtxtSUReq
      ⊟ ProtocolIE-Field
          id: id-E-RABToBeSetupListCtxtSUReq (24)
          criticality: reject (0)
        ⊟ value
          ⊟ E-RABToBeSetupListCtxtSUReq: 1 item
            ⊟ Item 0: id-E-RABToBeSetupItemCtxtSUReq
              ⊟ ProtocolIE-SingleContainer
                  id: id-E-RABToBeSetupItemCtxtSUReq (52)
                  criticality: reject (0)
                ⊟ value
                  ⊟ E-RABToBeSetupItemCtxtSUReq
                      e-RAB-ID: 5
                    ⊞ e-RABlevelQoSParameters
                      0... .... Extension Present Bit: False
                    ⊟ transportLayerAddress: 240502000310000800000000000000010 [bit length 1
                        transportLayerAddress(IPv6): 2405:200:310:8::10 (2405:200:310:8::10)
                      gTP-TEID: 0f9b5022
                      nAS-PDU: 27446cf00302074201494c4e044578001004457800110445...
                    ⊞ Non-Access-Stratum (NAS)PDU
    ⊞ Item 4: id-UESecurityCapabilities
```

Obr. 3.10: Zpráva Initial Context Setup Request [7]

V této fázi je vybudován nosič, přes který může terminál zasílat data až k P-GW. Ovšem v opačném směru není tento nosič stále připravený přenášet data až k terminálu. A to z toho důvodu, že dosavadní tunel sestavený pro downlink končí na uzlu S-GW, který stále nedostal informaci k jakému eNodeB má data přeposílat. Uzel MME už tuto informaci od eNodeB získal ve zprávě INITIAL CONTEXT SETUP RESPONSE a nyní je na čase aby tuto informaci předal ve zprávě MODIFY BEARER REQUEST uzlu S-GW. Po přijetí této zprávy muže pomocí TEID od základnové stanice a ID nosiče rozhodnout jakému eNodeB bude posílat data v rámci vytvořeného nosiče. Jako potvrzení, že byl nosič ve směru downlink sestaven, posílá S-GW zpět MME zprávu

MODIFY BEARER RESPONSE. Nyní je tedy sestaven defaultní nosič.



Obr. 3.11: Vytvoření defaultního nosiče druhá část [7]

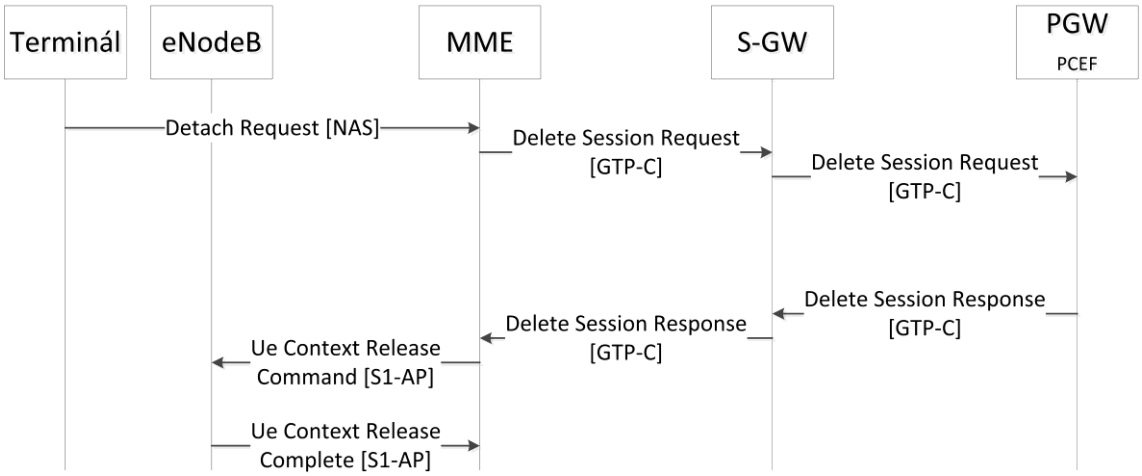
3.4 Odpojení terminálu od sítě

Proces odpojení terminálu od sítě slouží k tomu, aby síť mohla uvolnit dříve rezervované prostředky pro uživatele, který již tyto prostředky nepotřebuje.

Odpojení od sítě může vyvolat buď samotná síť, nebo o odpojení žádá sama mobilní stanice. V prvním případě, pokud systém požaduje od mobilní stanice pravidelné aktualizace poloh a po nějaký stanovený interval nedostane systém zprávu o aktuální poloze uživatelského zařízení, bere takovou mobilní stanici jako neaktivní a odpojí ji. Systém si poznačí tohoto účastníka dle IMSI ve své příslušné jednotce, že je neaktivní, popřípadě smaže jeho dočasnou lokaci.

Při inicializaci odpojení směrem od uživatelského zařízení odesílá stanice zprávu GUTI/DETACH REQUEST. Tento proces je zobrazen na Obr. 3.12. Poté co MME

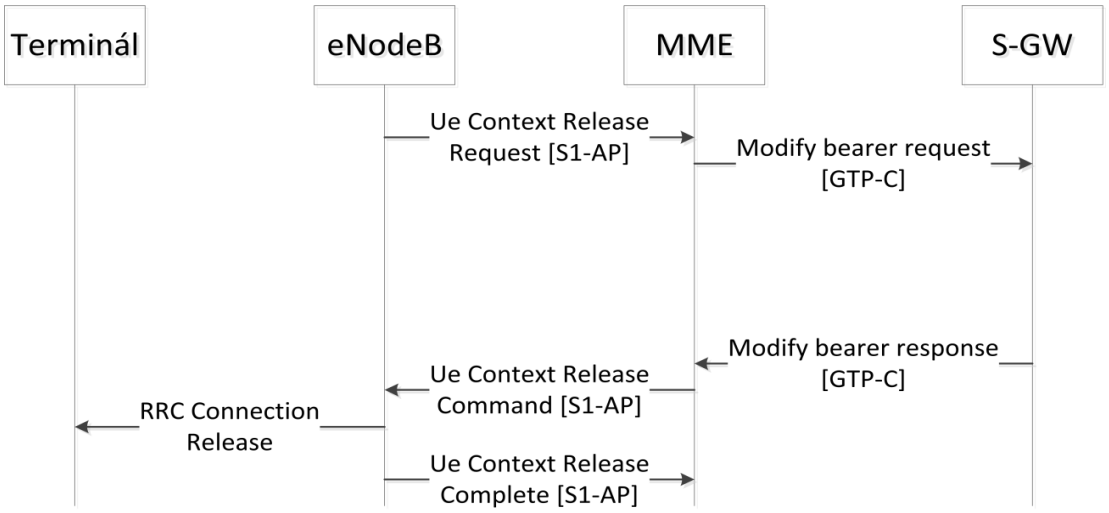
obdrží žádost od odpojení od účastníka specifikovaným číslem GUTI, postará se o odstranění všech jeho vytvořených nosičů. Jakmile se zruší všechny nosiče v EPC části, vyšle MME požadavek o zrušení všech prostředků rezervovaných pro daného uživatele u eNodeB.



Obr. 3.12: Proces odpojení od sítě

Při odpojení terminálu v systému EPS, který je inicializován směrem k uživatelskému zařízení,se nejdříve vyšle požadavek pro uvolnění a smazání spojení připravených pro neaktivního účastníka v části EPC. Poté jednotka MME pošle zprávu terminálu, kde žádá o odpojení, ten už ji ale nemusí být schopen přijmout, s čímž se počítá. Nakonec se uvolní kanály na základnové stanici a upozorní se jednotka HSS, že účastník byl odpojen.

Ve výše popsaných případech se jedná o úplné odpojení a uvolnění zdrojů rezervovaných pro zařízení. Pokud je ale požadavek pro uvolnění zdrojů inicializován uzlem eNodeB (Obr. 3.13), který na základě vypršení určitého čas po který stanice negenerovala ani nepřijímala žádná data, nedojde ke smazání všech dílčích nosičů.



Obr. 3.13: Odpojení UE od sítě důsledkem vypršení časovače v uzlu eNB

4 HLASOVÉ SLUŽBY V SÍTI EPS

Potřeba hlasové komunikace na dálku patřila vždy mezi nejdůležitějšími základními službami telekomunikačních sítí zaměřených na komunikaci mezi lidmi, tedy i v oblasti mobilních sítí. S postupem času a vývojem technologií, především rozšíření globální sítě Internet a jeho služeb, se zájem účastníků nasměroval právě na datové služby. Ačkoli objemově je hlasová služba v současných integrovaných sítích ve srovnání s dalšími službami stále méně zastoupená, je v široké nabídce služeb nezastupitelná a jejímu zajištění v potřebné kvalitě i v těch nejmodernějších sítích je věnováno nemalé úsilí. Což u sítí 4G, které jsou navržené primárně pro datové služby, způsobuje řadu komplikací.

Pro využití hlasových služeb je tedy nutné, aby se systém pokusil zaručit dostatečné prostředky pro pakety, které přenáší hlas. Dále je nezbytné zaručit spolupráci EPS se staršími generacemi (GSM, UMTS).

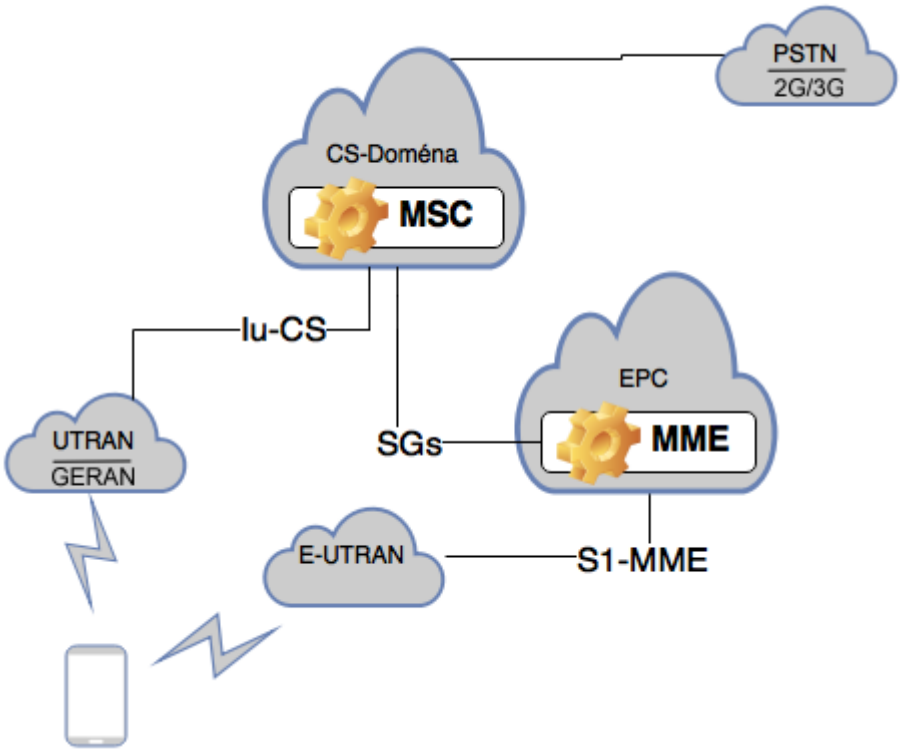
V této kapitole se tedy zaměříme na technologii zvanou CSFB (Circuit Switched Fallback), která je hojně využívána operátory. V další části si objasníme požadavky a princip služby VoLTE, která slouží pro přenos hlasu v rámci EPS. V této kapitole bylo čerpáno ze zdrojů [1], [30], [17], [2].

4.1 Princip funkce a popis metody CSFB

Jako hlavní krátkodobé řešení hovorové služby pro UE připojeného k síti 4G je právě technologie CSFB (Circuit Switched Fallback). Tato metoda přináší řešení pro hovorové služby mezi EPS a 2G/3G, ale zároveň i hlavní řešení pro poskytnutí hovorové služby v sítích EPS bez podpory VoLTE. Aby síť plně podporovala Circuit Switched Fallback musí být přidáno rozhraní nazvané SGs mezi MME a MSC viz, Obr. 4.1.

Princip je takový, že účastník, který je připojený k síti EPS a chce realizovat hovorovou službu, pošle zprávu ESR (Extended Service Request) k MME. V této zprávě je obsažena informace, že má být proveden pád do 2G/3G sítě. Po přepojení uživatele do sítě 2G/3G se sestaví hovor klasickým způsobem pro tuto síť. Využije se tedy přepojovaných okruhů. Podobně pokud je účastník v síti EPS volaný účastníkem ze sítě např. UMTS, provede se tzv. fallback do UMTS. Zde uživatel provede aktualizaci polohy a odpoví na zprávu paging. Oba dva scénáře si detailněji popíšeme v následujících kapitolách.

Pro využití této metody musí být v oblasti pokrytí 2G/3G a EPS sítí, dále je snahou operátora zajistit co nejlepší možné překrytí oblastí LA (Location Area) a tzv. TA (Tracking Area), což je označení konkrétní buňky nebo skupiny buněk v síti 2G/3G a EPS ve které se zařízení právě nachází.



Obr. 4.1: CSFB architektura

4.1.1 Preference služeb uživatelského zařízení

Při úvodním přihlašování do sítě, které bude popsáno v následující kapitole 4.1.2, indikuje uživatelské zařízení, které technologie pro přenos podporuje, a které z nich preferuje. Tento parametr se nazývá Voice Domain Preference a může se vyskytovat v následujících podobách:

- zařízení podporuje přenos hlasu jen přes 2G/3G tedy jen přes síť s přepojováním okruhů
- zařízení podporuje přenos hlasu pouze přes síť s přepínáním paketů za podpory IMS
- zařízení preferuje přenos hlasu přes síť s přepínáním paketů za podpory IMS a jako druhou možnost podporuje přenos hlasu přes 2G/3G
- zařízení preferuje přenos hlasu přes 2G/3G a jako druhou možnost podporuje přenos hlasu přes síť s přepínáním paketů za podpory IMS

Druhý parametr, kterým zařízení indikuje, zdali bude použito spíše na datový provoz, než na hlasové služby se nazývá UE´s usage setting. Tento parametr tedy indikuje pouze dva možné stavy. Pokud je pole UE´s usage setting nastaveno na voice-centric znamená to, že síť musí zaručit hlasové služby, neboli EPS musí podporovat buď přenos hlasu s podporou IMS, nebo Circuit Switched Fallback anebo obojí. Pokud však síť nedokáže zajistit ani jednu možnost, tak se zařízení přepojí do 2G/3G sítě. Při nastavení parametru UE´s usage setting na data-centric by stanice zůstala připojená dále do sítě EPS a nepřepojovala by se, jelikož pro zařízení je primární datový přenos.

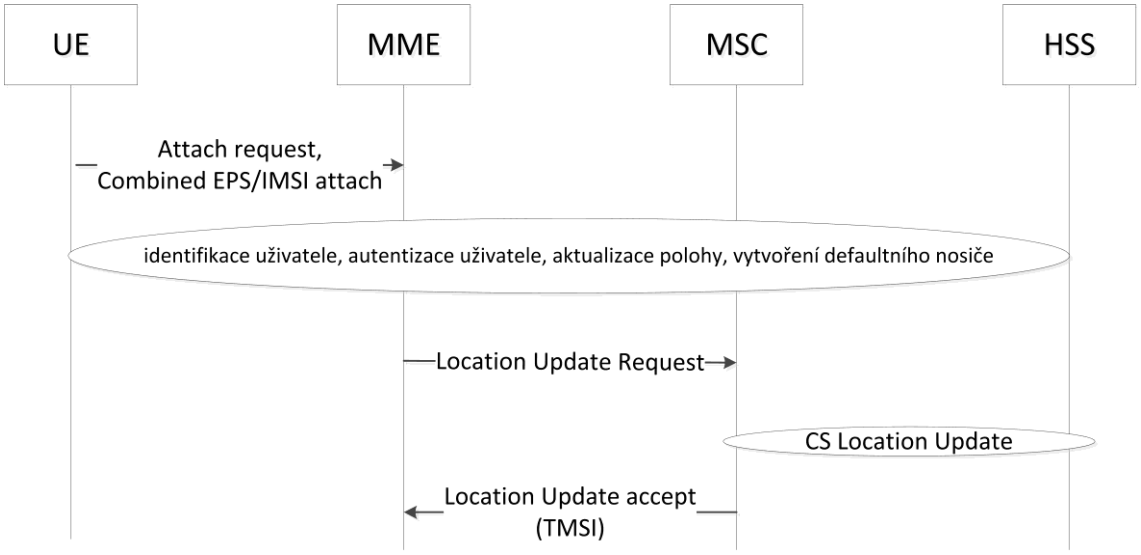
4.1.2 Kombinované EPS/IMSI připojení do sítě

Do průběhu klasického připojení uživatelského zařízení do sítě EPS je za účelem podpory CSFB přidáno pár kroků navíc, kde si mezi sebou uzly MME a MSC vymění informace o poloze uživatele. Stručný průběh výměny zpráv se zaměřením zejména na spolupráci MME s MSC je zobrazen na Obr. 4.2.

Proto, aby uživatelské zařízení dalo najevo, že se chce registrovat také do sítě 2G/3G pro případný fallback, pošle zprávu MME. Tato zpráva se nazývá ATACH REQUEST, ve které uživatel dává najevo, že žádá o kombinované připojení EPS/IMSI. Dále se touto zprávou přenáší parametry voice domain preference,UE´s usage setting. Poté následují kroky jako při klasickém připojení jen do sítě EPS. Mezi tyto kroky patří identifikace uživatele, autentizace uživatele, aktualizace polohy, vytvoření defaultního nosiče.

Při dalším kroku odvodí uzel MME dle TA, oblast LA pro 2G/3G sítě a zjistí, které MSC spravuje danou LA. Proces dále pokračuje zasláním zprávy LOCATION UPDATE REQUEST přes rozhraní SGs, ve které žádá MME o zaregistrování uživatele pro využívání circuit switched domény. V této zprávě je obsaženo IMSI, LAI (Location Area Identifier), název MME a další. MSC zkontroluje informace o uživateli a provede aktualizaci polohy ve spolupráci s HSS.

MSC posílá MME na zpět dočasnou identifikaci uživatele TMSI ve zprávě LOCATION UPDATE ACCEPT. Přes TMSI se je pak možné dovolat uživateli ze sítě 2G/3G. Po vytvoření asociace mezi MME a MSC pro daného uživatele zašle MME zprávu uživatelskému zařízení o úspěšném provedení kombinované registrace EPS/IMSI.



Obr. 4.2: EPS/IMSI připojení do sítě

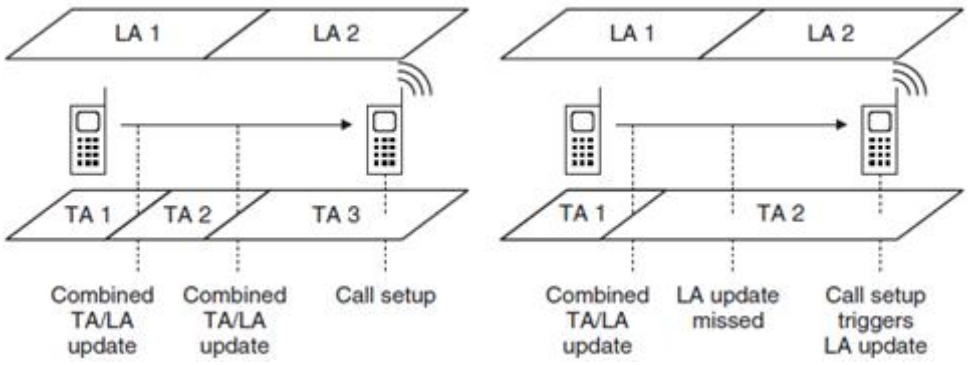
4.1.3 Aktualizace polohy terminálu při využití metody CSFB

Jelikož se předpokládá, že se terminál pohybuje, je nutné, aby si síť stále udržovala přehled o poloze terminálu pro případnou komunikaci s mobilní stanicí. V EPS systému

se skupina buněk nebo buňka označuje jako TA (Tracking Area). Pokud tedy terminál přejde z jedné TA do druhé, což zjistí naslouchánim všesměrově vysílaným systémovým zprávám od eNodeB, zahájí proces nazývaný TRACKING AREA UPDATE.

Pokud je mobilní terminál přihlášen k síti EPS, která zaručuje případný fallback do 2G/3G sítě,musí se poloha terminálu aktualizovat i ve 2G/3G systému. Nutné je si uvědomit, že systémy druhé a třetí generace nevyužívají TA ale tzv. LA. Pokud tedy uživatel žádá o TA/LA update, musí jednotka MME najít LA, která koresponduje s oblastí TA v EPS síti. A dále má za úkol jednotka MME poslat příslušné jednotce MSC požadavek o aktualizaci polohy terminálu.

Rozdíl mezi LA a TA není jen v názvu, ale hlavně v oblasti, kterou pokrývají. Snahou operátora je, aby se oblasti v síti EPS co nejvíc překrývaly s oblastmi v síti 2G/3G, jak je naznačeno na Obr. 4.3. Protože pokud by například jedna oblast v síti EPS pokrývala více LA v 2G/3G, nevykonal by se update pozice tzv. TA/LA update. A jestliže by stanice později měla zájem o hovorovou službu, učinil by se fallback do 2G/3G sítě a až tehdy by terminál zjistil, že se nachází v jiné LA, než předpokládal, což vyvolá proces pro aktualizaci polohy. A až po úspěšné aktualizaci polohy začne realizace hovorové služby.



Obr. 4.3: Překrytí LA a TA [1]

4.1.4 Realizace hovoru s využitím metody CSFB

Mobilní terminál, který je připojen k síti EPS a chce realizovat hovor, začne tím, že pošle zprávu EXTENDED SERVICE REQUEST k jednotce MME. Tato zpráva mimo jiné indikuje, že má být využit CSFB za účelem hovorové služby.

Pokud je zařízení v tzv. idle módu pošle MME zprávu S1-AP INITIAL CONTEXT REQUEST k eNodeB za účelem informovat eNB, že účastník žádá o provedení procedury CSFB. Pokud by zařízení bylo v aktivním módu,poslala by jednotka MME modifikační žádost eNB,tedy MODIFY CONTEXT REQUEST a dojde k uvolnění zdrojů rezervovaných pro uživatele v síti 4G.

Jakmile eNodeB odpoví na zprávu S1-AP INTIAL CONTEXT REQUEST. Přesměruje zařízení na nosnou frekvenci, která se využívá v dané 2G/3G síti a může poskytnout informace o sousedních buňkách. Poté, co terminál přeladí na frekvenci 2G/3G sítě, připojí se k buňce a budou mu přiděleny kanály pro vykonání hovorové služby.

Druhý způsob, jak se zařízení přepojí do 2G/3G sítě je pomocí tzv. Packet switched handover. Během tohoto procesu nejprve zařízení pošle informace základnové stanici o dostupných 2G/3G buňkách a eNodeB rozhodne o provedení handoveru mezi dvěma systémy.

Inicializace spojení poté probíhá standardně pro 2G/3G síť, pokud se tedy stanice nachází v korespondující Location Area, jestliže se nachází v neočekávané oblasti, je nutné navíc vykonat aktualizaci polohy terminálu.

Průběh inicializace spojení ve 2G/3G je stručně popsán následovně:

1. Stanice pošle zprávu CM SERVICE REQUEST k MSC, v této zprávě je obsažen druh služby o kterou stanice žádá a identita uživatele (IMSI, TMSI).
2. Po autentizaci a dohodnutí na šifrovacích parametrech pošle zařízení zprávu SETUP k MSC.
3. MSC informuje zařízení, že pracuje na uskutečnění hovoru a zajistí kanál mezi MSC a BSC/RNC.
4. Síť sdělí kanál, který je použit pro hlasovou službu.
5. MSC směruje hovor i k volanému účastníkovi, jakmile účastník hovor přijme, pošle se zpráva CONNECT až k volajícímu zařízení a hovor je sestaven.

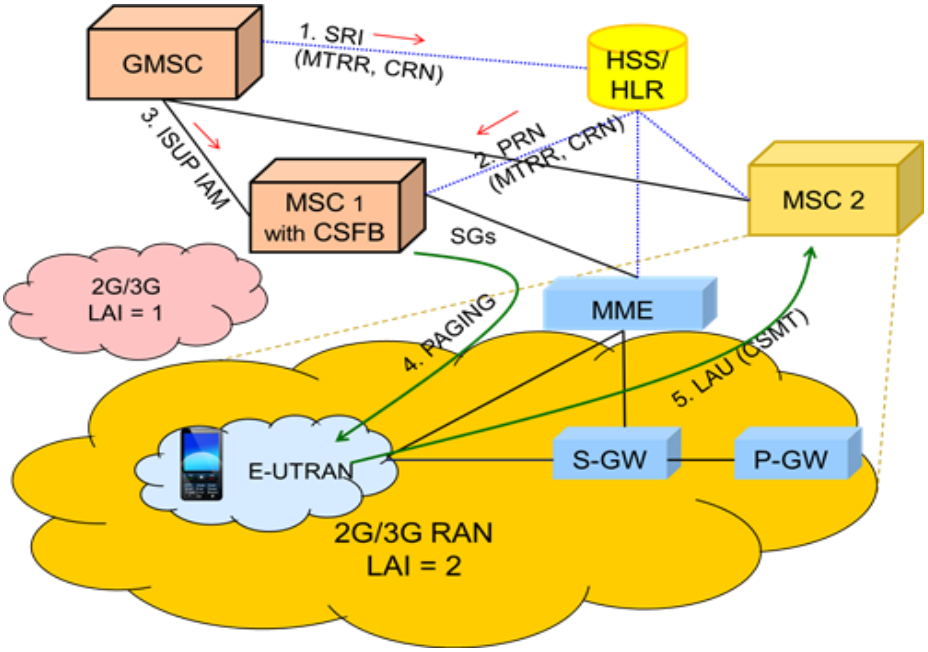
Po ukončení relace by se mobilní stanice měla, co nejdříve to bude možné, připojit zpátky do sítě EPS.

4.1.5 Příchozí hovor použití metody CSFB

V předešlé kapitole 4.1.5 byl popsán průběh signalizace při odchozího hovoru. Nyní si popíšeme průběh signalizaci při příchozím hovoru (Obr. 4.4 a Obr. 4.5). V této podkapitole byly využity zdroje [18], [19].

Jestliže je uživatel v síti EPS volán někým ze sítě 2G/3G, musí nejprve tzv. GMSC (Gateway Mobile Switching Centre), zjistit na jaké MSC se má v případě volaného uživatele obrátit s inicializací hovorové služby. Proto posílá GMSC zprávu SEND ROUTING INFO k uzlu HSS.

Díky předešlémukombinovanému EPS/IMSI připojení, nebo případně pomocí aktualizaci polohy terminálu tzv. TA/LA update dokáže HSS zjistit odpovídající MSC entitu, ke kterému byl terminál zaregistrován. Tento uzel poté pošle zpět přes HSS k GMSC číslo MSRN (Mobile Station Roaming Number). Pomocí tohoto čísla entita GMSC ví, ke které jednotce MSC má poslat zprávu pro inicializaci hovoru. Přes určenou MSC entitu je pak možné kontaktovat volaného uživatele pomocí zprávy paging, která se pošle přes SGs rozhraní jednotce MME.

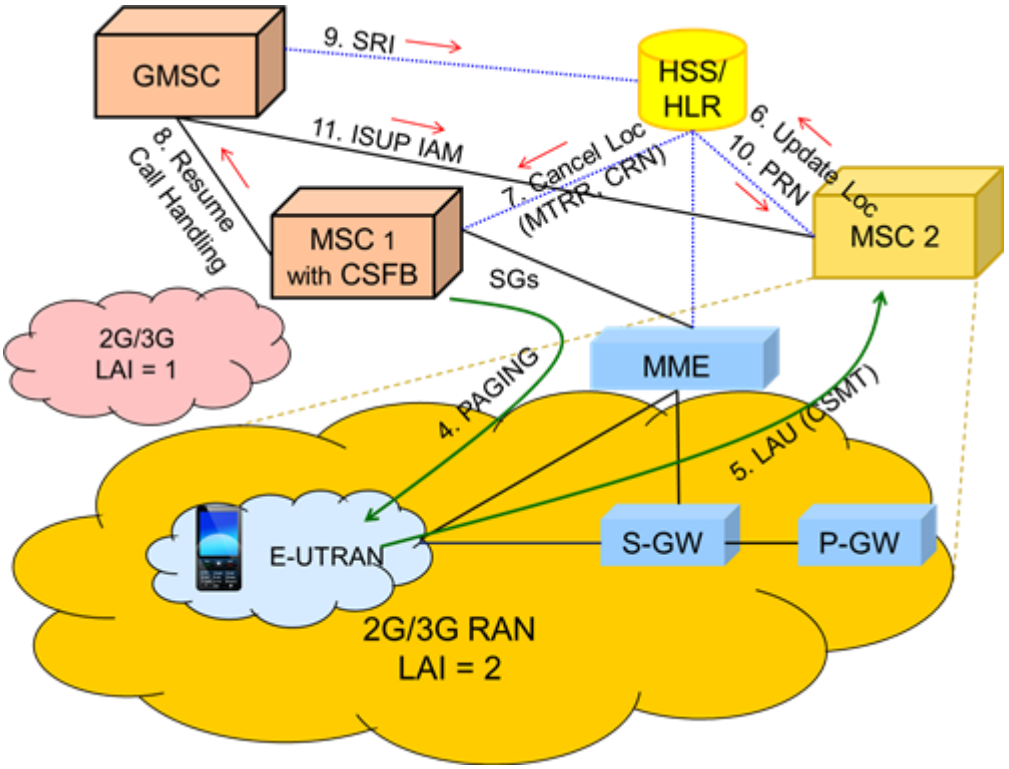


Obr. 4.4: Příchozí hovor CSFB[3]

MME jednotka dále přepošle paging zprávu až k základnovým stanicím, které obsluhují příslušnou TA, ve které se nachází zařízení. Uživatel odpoví na paging zprávou EXTENDED SERVICE REQUEST, ve které je mimo jiné obsaženo, zdali uživatel hovor přijal či nikoliv. Pokud by došlo k zamítnutí příchozí hovoru ze strany uživatele, informuje MME o této skutečnosti MSC jednotku. Jestliže byl hovor přijat, provede se fallback do 2G/3G sítě.

V případě, že se terminál nachází v neočekávané oblasti, kterou obsluhuje jiná MSC, je nutné vykonat aktualizaci polohy terminálu, jak je znázorněno na Obr. 4.5. Mobilní zařízení se tedy nachází v LA, kterou spravuje MSC 2 a pošle žádost o aktualizaci polohy. MSC 2, poté pošle zprávu HSS/HLR, aby informoval, že se účastník nachází v jiné oblasti. HSS pošle zprávu CANCEL LOCATION k MSC 1, která díky této zprávě informuje GMSC, že není v jejich silách, aby uskutečnila hovorovou službu.

GMSC tedy začne od začátku a zeptá se HSS k jaké MSC má poslat žádost o spojení s daným účastníkem (tato část byla popsána výše). Jakmile dorazí zpráva paging k UE (tento krok není již zaznačen na obrázku), odpoví na něj zprávou PAGING RESPONSE, ve které jsou údaje o schopnostech zařízení a identita volajícího. Dále už se sestaví hovor klasickým způsobem pro 2G/3G síť.



Obr. 4.5: Příchozí hovor CSFB 2[3]

4.2 Hovorová služba VoLTE

Jak již bylo několikrát zmíněno výše, proto žesystém EPS funguje na principu přepínání paketů a je tedy určen pro data, musí se hlas přenášet také pomocí paketů. Úkolem systému EPS je aby nějakým způsobem rozeznal přenos hlasu od jiných služeb a mimo jiné musí také sestavit spojení s volaným účastníkem. Proto, aby byl systém EPS schopen uskutečnit hovorovou službu, nad kterou má operátor kontrolu, musí spolupracovat se systémem IMS, který byl popsán v IP multimedia subsystem. A právě spoluprací těchto dvou systému vznikla podpora pro přenos hlasu s garantovanou kvalitou služeb v sítích 4G technologie VoLTE (Voice over LTE). Zdroje informací k této kapitole jsou [14], [27], [6], [34], [11], [10], [20], [30], [8], [11], [35].

4.2.1 Problematika nasazení služby VoLTE

Ačkoliv se může zdát, že nasazení služby VoLTE je celé specifikováno standardem, tak tomu tak bohužel není a operátoři optimalizují svoje sítě dle jejich potřeb. Například první český operátor, který spustil službu VoLTE, musel nejen vybudovat IMS systém, ale také optimalizovat svou stávající síť. Jelikož každý operátor si svou síť pro podporu VoLTE může optimalizovat podle svého, nastává zde kámen úrazu. V dnešní době, kdy se logika více a více přenáší do mobilního terminálu, tak tím operátor ztrácí možnost upravit síť pro podporu všech terminálů. V současnosti proto firmy disponují i odděleními, které se specializují přímo na úpravu firmwaru jednotlivých zařízení pro podporu VoLTE právě v jejich síti.

Pokud si tedy uživatel pořídí zařízení například od veřejného operátora A, tak by měl mít zaručené, že mu v této síti služba VoLTE bude fungovat. Jestliže se uživatel rozhodne přejít do sítě veřejného operátora B, koupí si ISIM a vloží ji do zařízení koupeného od veřejného operátora A, tak není zaručená funkčnost služby VoLTE v síti operátora B. V případě, že zařízení bylo koupeno například v Americe je téměř nulová šance, že by bylo možné uskutečnit službu VoLTE u Českých operátorů.

Aby tedy uživatel mohl využívat služby VoLTE, musí k tomu mít příslušné zařízení s odpovídajícím firmwarem optimalizovaným pro danou síť. Samozřejmostí je, že mobilní zařízení už podporuje technologii EPS a dokáže se do ní zaregistrovat a využívat ji pro datové služby. Úprava firmwaru se v ojedinělých případech dá realizovat vzdáleně ze strany operátora.

K tomu, aby se uživatel připojil do sítě EPS, potřebuje mít na kartě UICC modul USIM, jak bylo zmíněno v 1.1. Stejně jak pro EPS systém, potřebuje zařízení modul USIM, tak pro subsystém IMS je nutné mít na kartě UICC navíc modul ISIM (IP multimedia services identity module). Na této kartě jsou uloženy informace jako jméno domény operátorovi sítě, privátní identita uživatele v rámci IMS tzv. IMPI a také jedna nebo více veřejných identit uživatele v rámci IMS tzv. IMPU. Veřejná a privátní identita uživatele byly podrobněji popsány v 2.2.

Kvůli tomu, že většina uživatelů disponuje jen modulem USIM na své kartě UICC. Byl vyvinut způsob jak z IMSI odvodit IMPI, IMPU a jméno domény operátora. Odvození pro privátní identifikátor se používá šablona

ims.mnc.mcc.3gppnetwork.rg,viz Tab. 4.1.

Tab. 4.1: Odvození IMPI z IMSI

IMSI		
23001733585492		
MCC	MNC	MSIN
230	1	733585492
Private user identity		
23001733585492@ims.mnc001.mcc230.3gppnetwork.org		

. Stejný princip se používá i u veřejné identity uživatele, jen se přidá na začátek IMPU text sip a výsledek je tedy následovný:

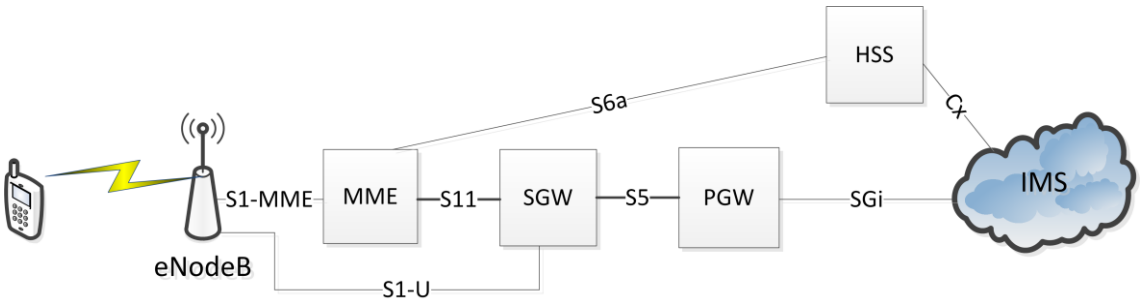
IMPU: sip:23001733585492@ims.mnc001.mcc230.3gppnetwork.org

Jelikož IMS subsystém využívá pro signalizaci protokol SIP,musí být v terminálu implementován SIP User Agent, který se buď chová jako klient nebo jako server. Pokud je v roli klienta znamená to, že jen posílá SIP požadavky, oproti tomu server dokáže tyto požadavky přijímat, obsloužit a odesílat SIP odpovědi.

Dalším požadavkem pro uskutečnění služby VoLTE je podpora kodeku AMR (Adaptive Multi Rate), který se používá pro kódování přenášeného hlasu. Tento kodek je buď úzkopásmový s vzorkovací frekvencí 8 kHz, anebo širokopásmový s dvojnásobnou vzorkovací frekvencí 16kHz přináší tedy lepší kvalitu hovorové služby.

4.2.2 Architektura

VoLTE architektura se skládá ze systému LTE, který komunikuje přes jednotku P-GW se systémem IMS. Na Obr. 4.6, který uvádí stručný pohled na VoLTE architekturu, si pod blokem IMS můžeme představit komponenty I-SCSF,P-SCSF,S-SCSF jejichž funkce byly popsány v kapitole 2. Dále si lze povšimnout, že jednotka P-GW spojuje EPS systém s IMS konkrétně tedy s P-CSCF (na obrázku jako IMS) a také je zřejmé, že EPS se systémem IMS sdílí jeden HSS uzel.Taktéž s jednotkou PCRF, která slouží pro monitorovací a účtovací účely, komunikují jak IMS tak EPS. Samozřejmě může každý systém mít svůj vlastní HSS uzel.



Obr. 4.6: VoLTE architektura[30]

4.2.3 Vytvoření nosiče pro budoucí SIP signalizaci s IMS

Podobně jako bylo popsáno v podkapitole 4.1.2, kde jsme se zabývali kombinovaným připojením účastníka do sítě EPS a 2G/3G,má i registrace uživatele do EPS s předpokládaným využitím IMS velmi podobný průběh. Celá procedura signalizace je zobrazena na Obr. 4.7.

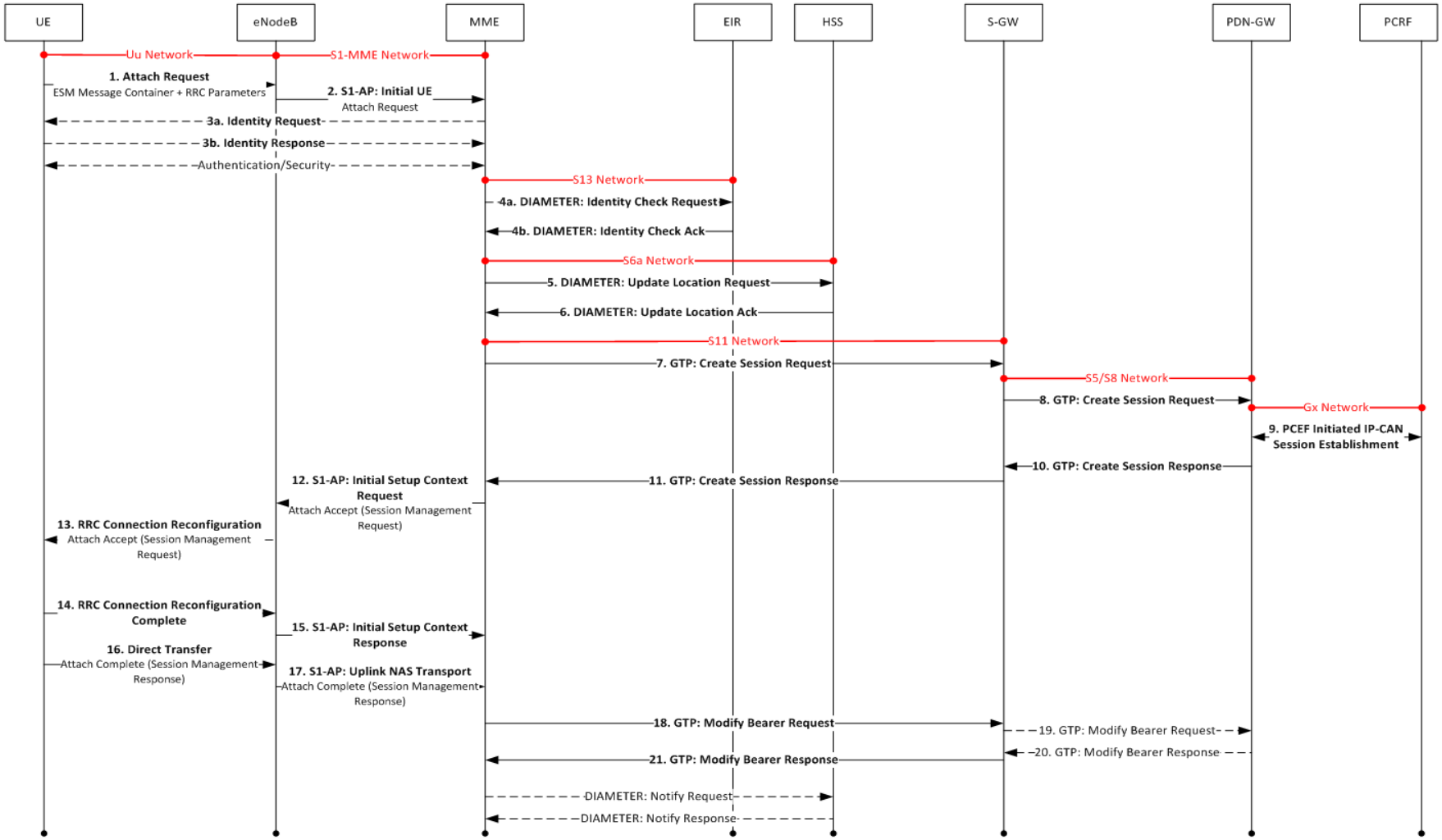
Nejprve musí terminál sestavit rádiové spojení s eNodeB a poté může přes přidělený kanál požádat o připojení do sítě zprávou ATTACH REQUEST, která obsahuje například IMSI, Voice Domain Preference, UE´s usage setting. Tato zpráva se dostane až k uzlu MME, který vygeneruje s pomocí HSS proces autentizace a zabezpečení komunikace.

Pro získání dalších informací o uživateli vyšle MME zprávu UPDATE LOCATION REQUEST na základě čísla IMSI. HSS odpoví zprávou UPDATE LOCATION ACCEPT, ve které posílá mimo jiné informace o přístupných APN pro uživatele, QoS profil pro uživatele a APN-AMBR pro uplink a downlink.

Nyní uzel MME disponuje všemi potřebnými informacemi k tomu, aby mohla zaslat požadavek na vytvoření defaultního nosiče směrem k P-GW. Tato zpráva CREATE SESSION REQUEST v sobě obsahuje informace jako IMSI, QCI=5 (IMS signalizace, viz Tab. 1.1), polohu uživatele (TA), APN-AMBR, IMS-APN a další. Pro VoLTE uživatele je defaultně nastaven APN na IMS-APN.

Požadavek na vytvoření jde nejdříve přes příslušnou S-GW, která si vytvoří záznam pro nový nosič a přepošle zprávu CREATE SESSION REQUEST uzlu příslušnému P-GW. Poté tento uzel přiřadí IP adresu zařízení a vyžádá si od entity PCRF pravidla provozu pro konkrétního účastníka, pro kterého se má sestavit defaultní nosič pro IMS signalizaci. PCRF poté odpoví zprávou CCA (Credit Control Answer), kde jsou QoS pravidla pro vytvoření defaultního nosiče.

Poté si P-GW uzel vytvoří nový záznam ve své tabulce pro směrovací účely a zprávou CREATE SESSION RESPONSE, která obsahuje parametry jako IP adresu zařízení, QoS pro nosiče a PCO (Protocol Configuration Option) odpovídá S-GW na žádost o vytvoření nosiče. V PCO se nachází IP adresa P-CSCF neboli adresa pro IMS-APN.



Obr. 4.7: EPS registrace s předpokladem budoucího využití IMS[4]

Přes uzel S-GW obdrží MME informace o vytvořeném nosiči a pošle odpověď eNodeB zprávou ATTACH ACCEPT s informacemi jako jsou IP adresa zařízení, QoS parametry, APN-AMBR, P-CSCF IP adresu, indikace podpory hlasu v dané TA, seznam oblastí TA ve kterých se zařízení může pohybovat bez nutnosti aktualizace polohy.

Stanice eNodeB se po obdržení zprávy ATTACH ACCEPT, domluví s UE na změně konfigurace RRC (Radio Resource Control), což je protokol používaný na rádiovém rozhraní v síti EPS. A zároveň přeposílá informace pro UE obdržené od MME.

Zařízení pošle zprávu ATTACH COMPLETE k eNodeB a ten ji přepošle k uzlu MME, což znamená, že nyní zařízení může generovat data ve směru uplink, který je sestaven až do P-GW. Proto, aby zařízení mohlo přijímat data ve směru downlink je potřebné, aby uzel MME poslal zprávu MODIFY BEARER REQUEST k S-GW ve které je specifikována adresa eNodeB a takzvaný TEID (Tunnel Endpoint IDentifier), který slouží pro identifikace příslušného tunelu.

Nyní je zařízení připojeno k EPS systému za využití defaultního nosiče, který byl sestaven pro budoucí IMS Signalizaci. A pro případné využití internetu má sestaven jiný nosič s jiným QCI.

4.2.4 Registrace terminálu do IMS

Nyní když terminál zná IP adresu uzlu P-CSCF, přes který komunikuje s IMS, může zahájit proces registrace do subsystému IMS. Pro komunikaci s IMS subsystémem se používá textově založený protokol SIP. Signalizace registrace uživatele do IMS a následně k AS je zobrazena na Obr. 4.8.

První krok udělá terminál zasláním zprávy REGISTER pro P-CSCF. V této zprávě jsou mimo jiné uvedeny následující informace:

- veřejná a privátní identita uživatele. Veřejná identita uživatele, která se má zaregistrovat.
- IP adresa, přes kterou bude určitou dobu terminál dosažitelný.
- Schopnosti zařízení podporovat různé služby jako je MMTEL (Multimedia Telephony Services)
- Parametr P-Access-Network-Info, který oznamuje přístupové technologie, ve které byl vygenerován požadavek na registraci. V našem případě v LTE.
- Uzel, pro který je zpráva určena v našem případě pro uzel S-CSCF.

Uzel P-CSCF přijme zprávu REGISTER a předtím než ji pošle uzlu I-CSCF přidá do ní následující informace:

- Přidá se do hlavičky zprávy REGISTER, aby obdržel odpověď na požadavek o registraci.
- Dále přidá parametr P-Visited-Network-ID, který identifikuje síť, ve které se právě uživatel nachází.

- Pole integrity-protected značí, zdali může P-CSCF garantovat to, že uživatel, který požádal o registraci je tentýž uživatel uvedený v hlavičce autorizace.

Jelikož I-CSCF netuší pod správu jakého uzlu S-CSCF uživatel patří a proto kontaktuje entitu HSS. HSS ověří, zdali IMPU a IMPI jsou platné a nejsou nějakým způsobem zakázané. Dále HSS pošle buď požadované schopnosti uzlu S-CSCF, nebo rovnou adresu zvoleného S-CSCF. Pokud by uzel I-CSCF obdržel pouze požadované nároky na S-CSCF, tak si vybere patřičný uzel a přidá adresu tohoto uzlu do směrovací hlavičky. Nakonec přidá sebe do hlavičky, která značí, přes které uzly prošla zpráva REGISTER.

Jakmile dojde zpráva až k uzlu S-CSCF, tak si tento uzel vyžádá údaje potřebné pro autentizaci účastníka od HSS. Po obdržení těchto parametrů si S-CSCF uloží očekávanou, vypočtenou odpověď (XRES) od uživatele na základě zaslaných údajů. A tyto údaje pošle uživateli zpět zprávou 401 UNAUTHORIZED RESPONSE. Předešlá registrace je samozřejmě zamítnuta.

Entita P-CSCF odstraní ze zprávy 401 UNAUTHORIZED RESPONSE šifrovací klíč a tzv. integrity key. Tyto klíče pak přiřadí k privátní identifikaci uživatele a poté jsou použity pro sestavení zabezpečeného přenosu.

Terminál si ze zprávy rozbalí parametry RAND a AUTN. Na základě parametru AUTN si ověří pravost sítě. A dále pomocí náhodně vygenerovaného parametru RAND vypočítá odpověď (RES) a také z RAND odvodí integrity klíč a šifrovací klíč. Nyní může terminál požádat znovu o registraci zprávou REGISTER k P-CSCF. Do této zprávy se přidali autorizační informace a přenos bude chráněn protokolem IPSec.

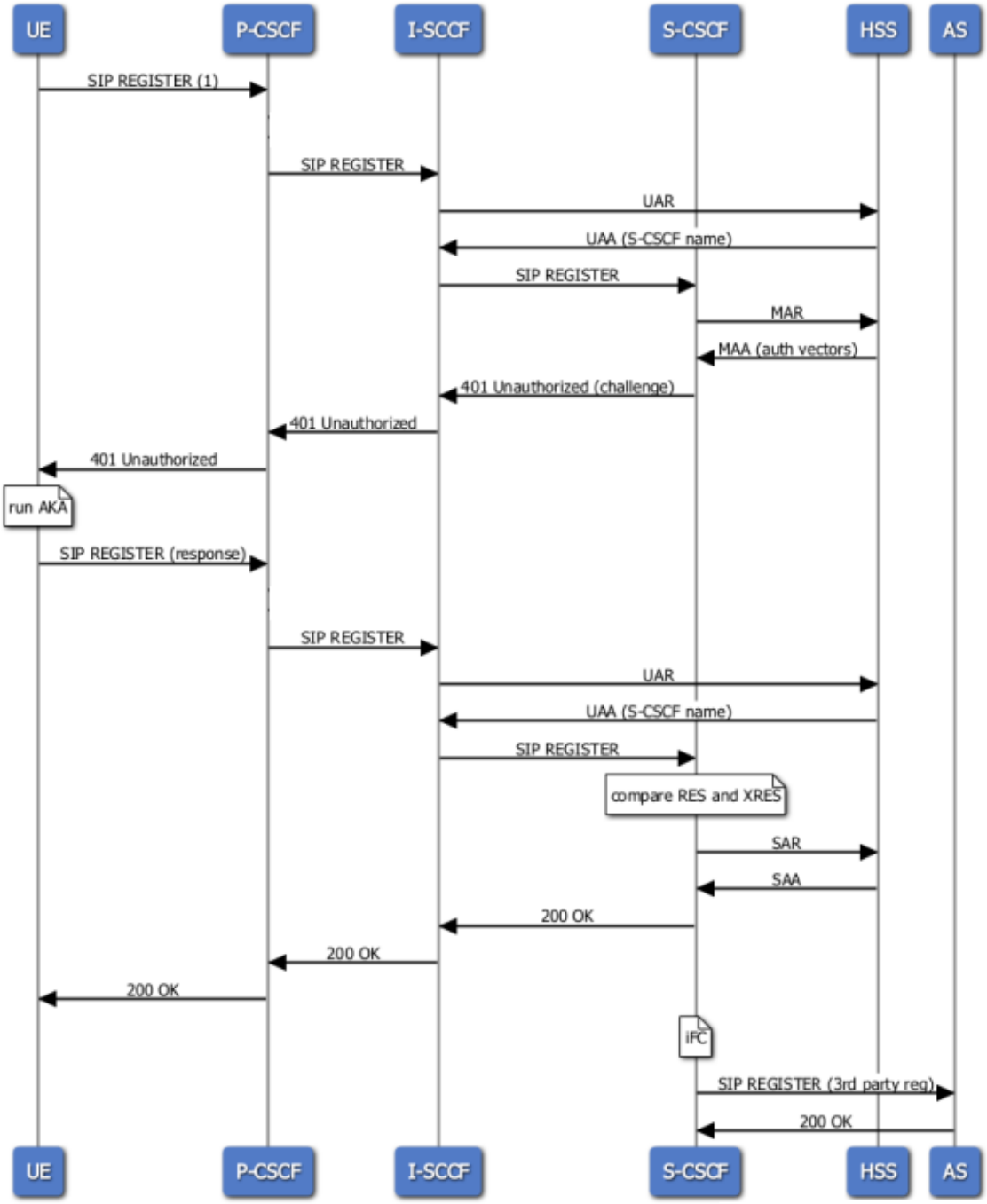
Uzel P-CSCF jen zkontroluje zabezpečení a ověří, že zpráva REGISTER nebyla nijak upravena a tedy označí do autorizační hlavičky, že je integrita zaručena. Dále pošle požadavek zprávě I-CSCF i s vypočtenou odpovědí RES.

I-CSCF si vyžádá zprávou UAR (User Authorization Request) uzel S-CSCF, ke kterému má přeposlat zprávu REGISTER.

Jakmile zpráva dorazí až k uzlu S-CSCF, dojde ke srovnání očekávané odpovědi XRES s přijatou odpovědí RES. Pokud jsou odpovědi stejné tak S-CSCF zaregistruje zařízení do HSS (zprávou Service Assignment Request) a zároveň si z tama stáhne profil uživatele. Dále uzel přiřadí adresu zařízení k veřejné identitě uživatele a pošle zprávu 200 OK oznamující úspěšné zaregistrování uživatele.

Zpráva 200 OK o úspěšné registraci projde všemi uzly CSCF, kterými byl předtím přeposlán požadavek o registraci. P-CSCF, už jen změní dočasné zabezpečení na nové, které se bude používat pro budoucí zprávy.

Poté, co se terminál dozví o úspěšné registraci, změní si jen zabezpečení po vzoru P-CSCF. A nakonec je tedy terminál zaregistrován do IMS subsystému.



Obr. 4.8: Registrace UE do IMS[26]

4.2.5 Registrace uživatele do aplikačního serveru

Na základě tzv. Filter Criteria, které jsou popsány v uživatelově profilu se vždy, když se uživatel zaregistruje do subsystému IMS, spustí tzv. Third-Party registrace. Tento proces slouží proto, aby TAS (Telephony Application Server) věděl o existenci právě registrovaného uživatele a byl schopen sním později komunikovat a poskytnout mu jeho služby.

Po úspěšné registraci uživatele do IMS vygeneruje uzel S-CSCF zprávu REGISTER, kterou zašle telefonnímu aplikačnímu serveru TAS. Uzel S-CSCF tedy registruje uživatelovu veřejnou identitu ve jménu samotného uživatele. Dále ve zprávě REGISTER uvádí S-CSCF kontakt přímo na sebe, nikoliv na uživatele, což zaručí, že bude uživatel s TAS komunikovat vždy přes S-CSCF.

TAS odpoví zprávou 200 OK a dává tím najevo, že ví o tom, že je uživatel dostupný, neboť provedl úspěšnou registraci do IMS systému.

Aby byl TAS, terminál a P-CSCF informován o případné změně registrace daného uživatele, je nutné, aby se přihlásili k odebírání informací ohledně registrace. Dané uzly tedy musí poslat zprávu SIP SUBSCRIBE k uzlu S-CSCF, který pak informuje o současném stavu registrace zprávou SIP NOTIFY.

4.2.6 Odchozí hovor metodou VoLTE

Jakmile je uživatel zaregistrován v síti IMS a také nahlášen u aplikačního serveru, může začít inicializovat hovor přes defaultní nosič pro IMS signalizaci, vytvořený při registraci a kontaktovat přímo P-CSCF. Pro samotný přenos hlasu se musí vytvořit vyhrazený nosič, jehož vytvoření bude popsáno v následujících odstavcích v rámci signalizace pro odchozí hovor. Celý proces je zobrazen na Obr. 4.9.

Terminál za účelem sestavení hlasového spojení pošle zprávu SIP INVITE a v ní i SDP (Session Description Protocol). V části SIP se nachází mimo jiné následující informace:

- P-Preferred-Service: oznamuje s jakou službou IMS je spojen tento požadavek. V našem případě tedy MMTel.
- Uzel, pro který je zpráva INVITE určena. Například pepa@priklad.com, což je vlastně veřejná identita volajícího uživatele.
- P-Access-Network-Info: oznamuje IMS jakou přístupovou technologii je připojen terminál (tento parametr jsme již viděli v zprávě REGISTER).

V SDP části zprávy se nachází podporované kodeky a typ média např. hlas, video atd. Pro přenos audio signálu se používá v rámci VoTLE kodek AMR (Adaptive Multi-rate) a to buď AMR-NB (AMR-Narrowband), úzkopásmový a nebo AMR-WB (AMR-Wideband) širokopásmový.

Uzel P-CSCF přidá parametr P-Charging-Vector s hodnotou ICID (IMS Charging ID), kde ICID je hodnota která identifikuje dialog a zároveň obsahuje identifikátor pro příslušné účtovací záznamy a události. P-Charging-Vector se tedy používá pro sdělování informací ohledně účtování. Zpráva SIP INVITE je dále přeposlána příslušnému uzlu S-CSCF, který byl nalezen v průběhu registrace.

Uzel S-CSCF přijme zprávu SIP INVITE azkontroluje, zdali je účastník autorizován pro použití služby MMTel definované ve zprávě SIP INVITE, konkrétně parametrem P-Preferred-Service. Pro autorizaci využívá S-CSCF profilu uživatele,který si stáhl během registrace z uzlu HSS.

Uzel S-CSCF přepošle zprávu SIP INVITE aplikačnímu serveru TAS, který realizuje služby a přidá se do hlavičky, aby přijímal následující zprávy pro tento dialog. A vrátí modifikovanou zprávu SIP INVITE uzlu S-CSCF.

Entita S-CSCF poté za pomocí DNS (Domain Name Server) a domény z adresy volaného uživatele získá adresu uzlu I-CSCF, který leží v domovské síti volaného uživatele. I-CSCF přepošle zprávu uzlu, ke kterému právě získala adresu a ten potom zprávu předá příslušnému uzlu S-CSCF, který byl zvolen jako obsluhující pro volaného uživatele.

Uzel S-CSCF na straně volaného uživatele, po spolupráci s TAS si vyžádá VoLTE služby a přepošle zprávu přes CSCF uzly k UE. Více o příchozím hovoru bude popsáno v podkapitole 4.2.7.

S-CSCF na straně volajícího obdrží SIP/SDP zprávu 183 PROGRESS od volané strany. V této zprávě jsou uvedena všechna přijatelná média a zvolený kodek pro každé medium. Dále zpráva obsahuje požadavek pro potvrzení zajištění QoS na volané straně. Nakonec S-CSCF přepošle zprávu k P-CSCF.

Entita P-CSCF na základě přijaté zprávy vygeneruje AAR (Authorize/Authenticate-Request), požadavek ve kterém se nachází informace ohledně relace (čísla portů, IP adresy, domluvené kodeky atd.) a pošle ho uzlu PCRF. PCRF na základě této zprávy prozkoumá informace, jako jsou povolené služby, QoS parametry atd. Tyto informace o účastníkovy má PCRF uložené. Poté přichází na řadu žádost o vytvoření vyhrazeného nosiče pro přenos hlasu s požadovanými QoS parametry. Tuto žádost posílá PCRF uzlu P-GW jako RAR (Re-Auth-Request).

P-GW na základě přijaté zprávy RAR inicializuje vytvoření nového dedikovaného nosiče s právě přijatými parametry ze zprávy RAR. Uzel P-GW tedy pošle požadavek na vytvoření dedicated nosiče k S-GW ve zprávě CREATE BEARER REQUEST, která obsahuje informace jako: odkaz na defaultního nosiče, identifikace nosiče pomocí TFT (Traffic Flow Template) a QoS parametry. S-GW dále přepošle tento požadavek entitě MME.

MME poté přeposílá požadavek příslušné základnové stanici. Stanice eNodeB vezme požadované QoS parametry a aplikuje je na rádiový tedy mezi UE a eNB. Za tímto účelemposílá terminálu zprávu RRC CONNECTION RECONFIGURATION.

Terminál si uloží informace o novém nosiči, tzn. (LBI) Linked EPS Bearer Identity, což je odkaz na defaultní nosič, ke kterému spadá nový dedikovaný nosič, TFT a QoS parametry. A potvrdí MME zprávo RRC CONNECTION RECONFIGURATION COMPLETE konfiguraci nového nosiče. Stanice eNodeB potom oznámí MME úspěšné sestavení rádiového nosiče.

Zprávu CREATE BEARER RESPONSE ohledně úspěšného sestavení nosiče pošle MME k uzlu S-GW. Zpráva obsahuje mimo jiné ECGI (E-UTRAN cell global identifier), což je identifikace buňky ve které se terminál nachází.

Uzel S-GW následně přepošle zprávu RAA (Re-Auth-Answer) uzlu P-GW a ten

oznámí entitě PCRF, která spustila požadavek o vytvoření nového nosiče, úspěšné aplikování pravidel. Nakonec PCRF potvrdí zprávou AAA (Authorize/Authenticate-Answer) uzlu P-CSCF úspěšnou autorizace a autentizaci.

Dalším krokem procesu je přeposlání zprávy SIP 183 PROGRESS RESPONSE směrem k uživateli. Uživatel musí potvrdit přijetí této SIP/SDP odpovědí zprávou PRACK (Provisional Response ACKnowledgment), jelikož to bylo vyžádáno volanou stranou. Po přijetí zprávy PRACK odešle volaná strana potvrzení o přijetí a to 200 OK (PRACK).

Pokud už je sestaven dedikovaný nosič pro přenos hlasu, oznámí tuto skutečnost volající terminál volané straně zprávou SIP/SDP UPDATE. V Tab. 4.2 je vidět rozdíl v těle SDP části zprávy INVITE a SDP části zprávy UPDATE, kde v SDP update je změněno druhé pole a=sendrecv (povolen přenos v obou směrech) a páté pole a=curr:qos local sendrecv (zdroje pro splnění QoS parametrů jsou zajištěny).

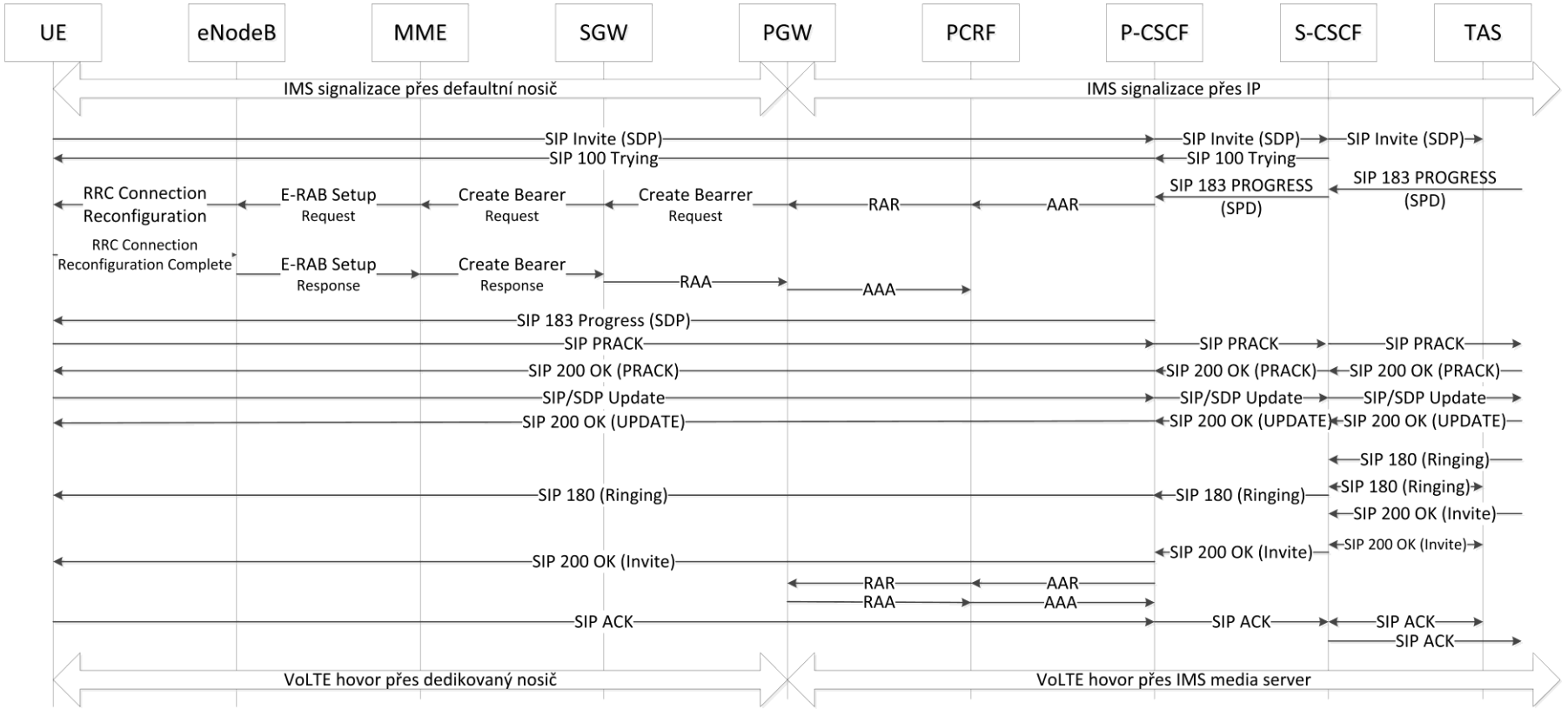
Tab. 4.2: SDP invite a SDP update

Tělo zprávy SDP INVITE	Tělo zprávy SDP UPDATE
m=audio 49540 RTP/AVP 98 99	m=audio 49152 RTP/AVP 97 98
a=inactive	a=sendrecv
a=rtpmap:98 AMR/8000/1	a=rtpmap:97 AMR/8000/1
a=rtpmap:99 telephone-event/8000/1	a=rtpmap:98 telephone-event/8000/1
a=curr:qos local none	a=curr:qos local sendrecv
a=curr:qos remote none	a=curr:qos remote none
a=des:qos mandatory local sendrecv	a=des:qos mandatory local sendrecv
a=des:qos mandatory remote sendrecv	a=des:qos mandatory remote sendrecv

Zpráva SIP/SDP UPDATE je přeposlána přes P-CSCF, S-CSCF až k volanému uživateli a pokud i tento uživatel má sestaven dedikovaný nosič pro přenos hlasu a splnil nutné podmínky pro uskutečnění hovoru, pošle nazpět k volajícímu uživateli zprávu 200 OK (UPDATE), indikující, že i on je připraven na hovor. Poté volaný terminál začne zvonit a zároveň na to upozorní volajícího účastníka zprávou SIP 180 (RINGING).

Jakmile volaný účastník přijme hovor, pošle jeho terminál zprávu 200 OK směrem k volajícímu účastníkovi. Uzel P-CSCF, který tuto zprávu obdrží od S-CSCF, se odkáže na PCRF, aby umožnil přenos v rámci dedikovaného nosiče (zpráva AAR). Na základě této žádosti pošle PCRF zprávu P-GW pro povolení datového toku (zpráva RAR). Jakmile je datový tok povolen (oznamující zprávy RAA, AAA) přepošle P-CSCF zprávu SIP 200 OK (INVITE) k volajícímu uživateli.

Pak už jen volající potvrdí zprávou SIP ACK, že byl hovor sestaven. Nyní přenos hlasu probíhá v rámci sítě EPS přes dedikovaný nosič a signalizace přes defaultní nosič. Přenos hlasu v rámci IMS probíhá přes media server.



Obr. 4.9: Signalizace při odchozím hovoru VoLTE

4.2.7 Příchozí hovor metodou VoLTE

Proces, při kterém je terminál volán má velmi podobný průběh jako předchozí scénář, neboť se přenáší i ty stejné zprávy jako při odchozím hovoru. Nyní se tedy zaměříme na sestavení hovorové služby z pohledu volaného uživatele, jelikož ale byla drtivá většina zpráv detailněji popsaná již v předešlé podkapitole 4.2.6, bude proces v této podkapitola popsán stručněji.

Příslušný uzel S-CSCF u kterého je registrován volaný účastník přijme zprávu SIP INVITE, kde jsou mimo jiné vypsané různé podporované kodeky. S-CSCF přepošle zprávu i TAS a obě entity vyvolají související služby s VoLTE. Dále je zpráva přeposlána uzlu P-CSCF a od něj do sítě EPS k terminálu. V síti EPS se pro IMS signalizaci používá vytvořený defaultní nosič.

Následná odpověď SIP/SDP 183 PROGRESS ve které jsou uvedeny podporované kodeky a informace ohledně média se pošle k uzlu P-CSCF. Dále je v této zprávě požadováno po volající straně, aby oznámila straně volané, že má rezervované prostředky pro přenos hlasu.

Jakmile P-CSCF obdrží zprávu SIP/SDP PROGRESS vygeneruje zprávu AAR pro PCRF, ve které se nachází informace o dané relaci (domluvené kodeky, IP adresy, typ media, atd.).

Následující proces, kdy PCRF autorizuje účastníka a vytvoří se dedikovaný nosič, je totožný jako proces pro vytvoření dedikovaného nosiče v minulém scénáři, (tj. odchozí hovor metodou VoLTE). Proto odkazuji na podkapitolu 4.2.6.

Po úspěšném vytvoření dedikovaného nosiče v systému EPS pošle P-GW odpověď na zprávu RAR uzlu PCRF o úspěšném nastavení pravidel. PCRF dále potvrdí úspěšnou autentizaci a autorizaci uzlu P-CSCF.

Nyní přepošle uzel P-CSCF zprávu SIP/SDP 183 PROGRESS, kterou obdržel už dříve. V této zprávě je vyžádáno potvrzení doručení a to je indikováno ve zprávě parametrem 100rel.

Ve chvíli kdy volaná strana přijme potvrzení o doručení předešlé zprávy volajícímu, potvrdí volaná strana úspěšné doručení potvrzovací zprávy (SIP PRACK) další zprávou SIP 200 OK (PRACK).

Teprve až volaná strana obdrží informaci o tom, že byl sestaven potřebný nosič pro splnění QoS požadavků, tak začne zvonit. Tato informace spolu s dalšími zvolenými prostředky pro přenos media se posílá ve zprávě SIP/SDP UPDATE. Volaný uživatel odpoví zprávou SIP/SDP 200 OK (UPDATE) ve které potvrzuje, že i on již má zajištěny prostředky pro zaručení kvality služby.

Nakonec v momentě, kdy uživatel přijme hovor, pošle zprávu SIP 200 OK (INV) k volajícímu uživateli. Pak už jen uzel P-CSCF přes který zpráva prochází, vyžádá po P-GW umožnění datového toku v rámci dedikovaného nosiče. Po obdržení zprávy SIP ACK od volajícího je kompletně sestavena hovorová služba mezi dvěma účastníky.

4.2.8 Ukončení hovorové služby VoLTE

Při procesu ukončení hovorové služby dojde zejména k deaktivaci dedikovaného nosiče a uvolní se zpět prostředky síti. Pro inicializaci ukončení hovorové služby se v protokolu SIP používá zpráva BYE. Celý proces deaktivace hovorové služby je zobrazen na Obr. 4.10.

Jakmile tedy uživatel prostřednictvím terminálu ukončí relaci, vyšle jeho zařízení zprávu SIP BYE, která se přenáší defaultním nosičem vytvořeným během registrace. Tato zpráva se dostane k druhému uživateli cestou, která je zřejmá z Obr. 4.10. Tedy pokud se nebere v úvahu samotná cesta v síti EPS, kde je vytvořen nosič od UE k PGW. Příklad obsahu zprávy BYE, ve které se nachází komu je zpráva určena a směrovací informace, je zobrazen v Tab. 4.3.

Tab. 4.3: Zpráva SIP BYE

SIP BYE
BYE sip:[3215::a:b:c:d]:1400 SIP/2.0
Route:<sip:pcscfA.tady.com:1500;lr>
Route:<sip:scscfA.tady.com;lr>
Route:<sip:scscfB.tam.com;lr>
Route:<sip:pcscfB.tam.com;lr>
From:<sip:uzivatelA@tady.com>;tag=314153
To:<sip:uzivatelB@tam.com>;tag=171828

V okamžiku, kdy P-CSCF na straně uživatele B a uživatele A obdrží požadavek pro ukončení relace (zpráva SIP BYE), vygeneruje zprávu STR (Session Termination Request) informující PCRF o tom, že spojení, pro které byl vytvořen dedikovaný nosič, je právě ve fázi ukončení.

Uzel PCRF požádá zprávou RAR uzel P-GW o odstranění dedikovaného nosiče vytvořeného pro přenos hlasu s odpovídajícím QoS parametry.

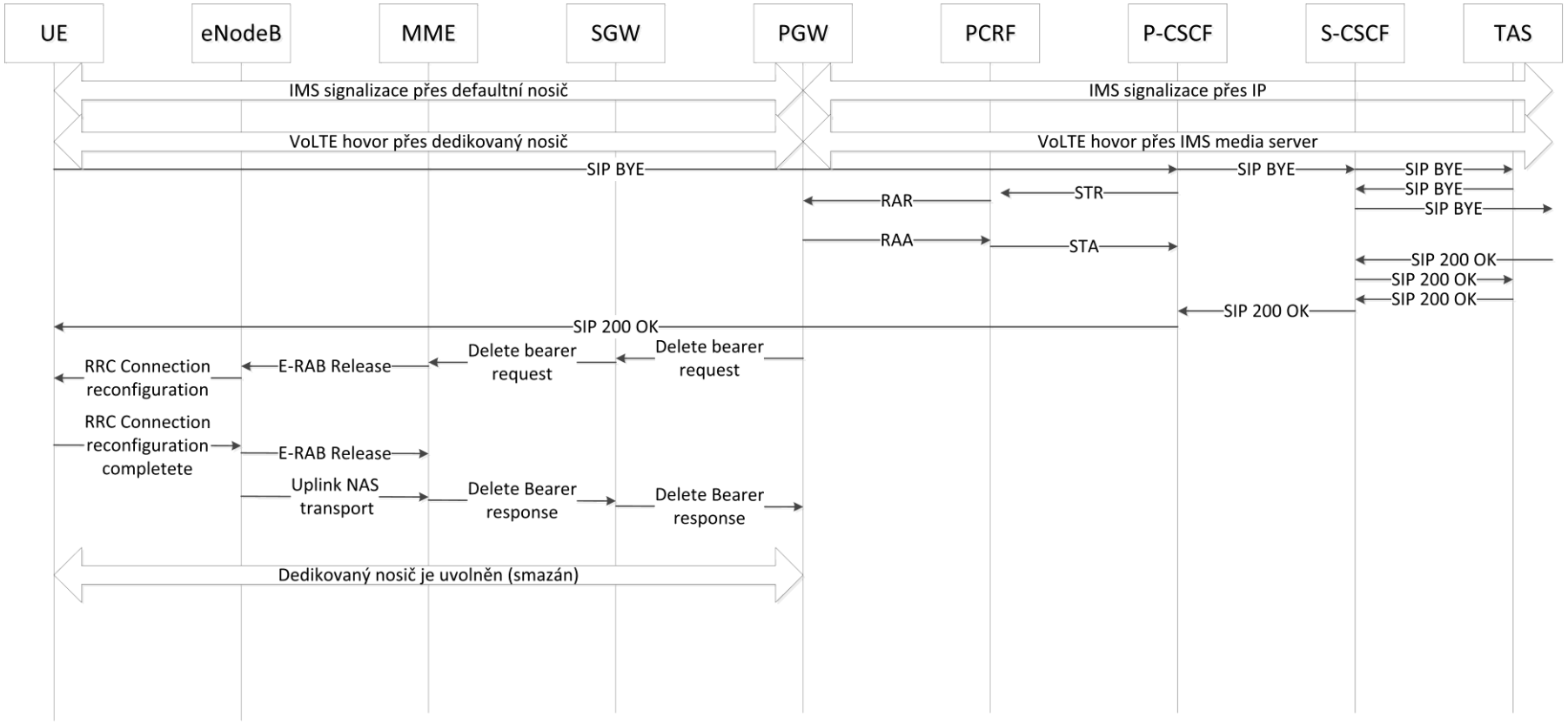
Entita P-GW začne s deaktivací nosiče zprávou DELETE BEARER REQUEST, která je poslána po trase S-GW, MME a eNB. Kde potom základnová stanice vyžádá změnu nastavení (zrušení dedikovaného nosiče) v rádiové části sítě, tedy mezi UE a eNB. Jakmile jsou úspěšně deaktivovány nosiče mezi jednotlivými rozhraními, je tím pádem deaktivován dedikovaný nosič v rámci systému EPS.

Uzel P-CSCF samozřejmě přeposílá zprávu SIP BYE dál k cílenému uživateli. Na cestě k uživateli pak oba uzly S-CSCF jak na straně uživatele B, tak na straně uživatele Apřepošlou zprávu uzlu TAS, který smí vykonat dodatečné VoLTE služby.

Nakonec, po obdržení SIP BYE zařízením, potvrzuje tento uživatel přijetí zprávou 200 (OK).

Může se stát, že například kvůli nedostatečnému pokrytí nebo špatným signálem ztratí jeden z účastníků hovorové služby spojení se systémem. V takovém případě vyvolá sám systém zprávu BYE, aby se zrušil dedikovaný nosič i uživatele, který je stále připojen do relace. O takové situaci informuje entita P-GW uzel PCRF. Dále

jednotka P-CSCF na základě zprávy od PCRF vygeneruje zprávu SIP BYE směrem k uživateli, který má stále aktivní nosič za účelem přenosu hlasu. Další průběh je totožný s tím, který byl popsán výše.



Obr. 4.10: Ukončení spojení VoLTE [34]

5 MĚŘENÍ V SÍTÍCH EPS

V této části diplomové budou zobrazeny a popsány výsledky realizovaného měření a to jak v experimentální síti FEKT VUT, tak i v komerční síti.Analýza mobilní sítě je zaměřena na zachytávání signalizačních zpráv přenášených v mobilní síti a to jak v části E-UTRA tak v EPC.

K zachytávání a analýze byla použita jak zařízení FEKT VUT - QualliPoc, experimentální síť EPS na ÚTKO, síťový skener Wireshark, tak i vlastní zařízení – ISIM T-Mobile, Nokia Lumia 550.

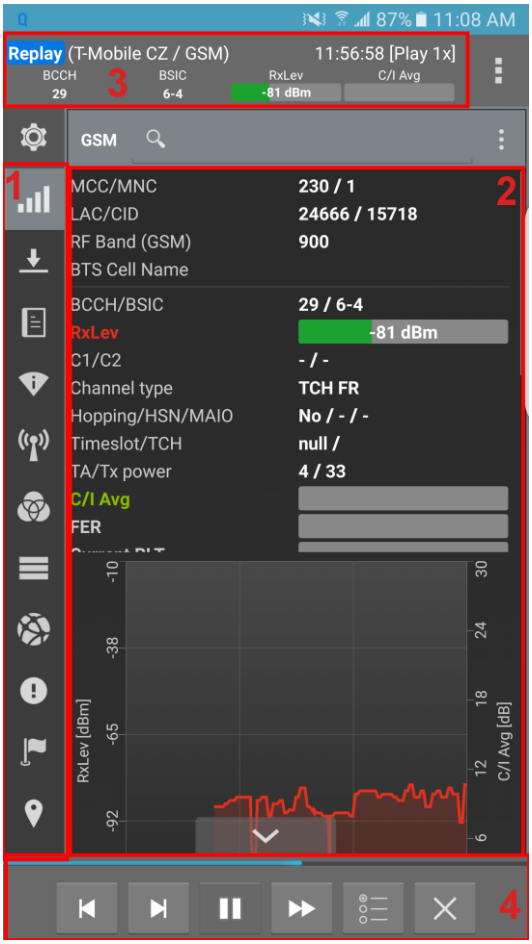
Výsledky měření by měly reflektovat teoretickou část diplomové práce a zároveň představit čtenáři reálnou implementaci signalizace v dnešních mobilních sítích.

5.1 Měření v síti T-Mobile CZ pomocí aplikace QualiPoc

QualiPoc je aplikace pro analýzu a následnou optimalizaci mobilní sítě vytvořená společností SwissQual a Rohde & Schwarz Company. Tento software vzniknul pro mobilní operační systém Android a je možné s ním realizovat celou řadu možných testů. Aplikace tedy najde využití zejména v oblasti testování reálného provozu přímo technikem v síti daného operátora. QualiPoc podporuje následující technologie GSM, GPRS, EDGE, WCDMA, HSDPA, HSUPA a LTE. Pomocí této aplikace je tedy možné zachytávat informace přenášené na rozhraní mezi terminálem a základnovou stanicí a následně přehledně zpracovávat data například do grafů.

V případě mého testování je software nainstalován na uživatelském zařízení Samsung Galaxy S6 Edge plus. Na Obr. 5.1 je vidět prostředí aplikace, kde vlevo na obrázku označené číslem jedna jsou ikony indikující druh měření jako například zachytávání signalizačních zpráv, různé logy z měření, úroveň přijímaného signálu a další informace/statistiky o síti. Číslo dvě značí prostor vyhrazený přímo pro výsledky měření. Úplně nahoře (číslo 3) nám aplikace sděluje základní informace o síti a technologii, k níž je momentálně zařízení připojeno. Označení REPLAY nám indikuje, že aplikace je právě v offline módu a přehrává dříve naměřené záznamy. A poslední panel označen číslem 4 je pro obsluhu přehrávaného záznamu.

Nutno podotknout, že software není zdarma dostupný a při instalaci je nutná úprava firmwaru daného zařízení. QualiPoc tedy lze nainstalovat pouze na určitá podporovaná zařízení, u nichž je kromě instalace softwaru samotného zapotřebí provést zásah i do firmware



Obr. 5.1: Prostředí aplikace QualiPoc

5.1.1 Analýza základních řídicíchprocedur

Pro měření byla využita nano SIM od T-Mobile. Na této kartě se nachází i modul ISIM pro spolupráci s IMS subsystémem a tedy i pro případnou realizaci služby VoLTE.

Jedna z vlastností, kterou aplikace QualiPoc obsahuje, je možnost přinucení připojení terminálu do sítě GSM/UMTS/EPS. Pomocí této funkce je tedy možné přepojovat se mezi jednotlivými technologiemi a sledovat základní procedury vykonané při připojování účastníka do sítě. Ještě před samotným sestavením spojení terminálu se základnovou stanicí přijímá uživatelské zařízení zprávu MASTER INFORMATION BLOCK (Obr. 5.2) a teprve poté je schopno přes sdílený kanál pro downlink (PDSCH)zachytit informace o buňkách kolem něj.

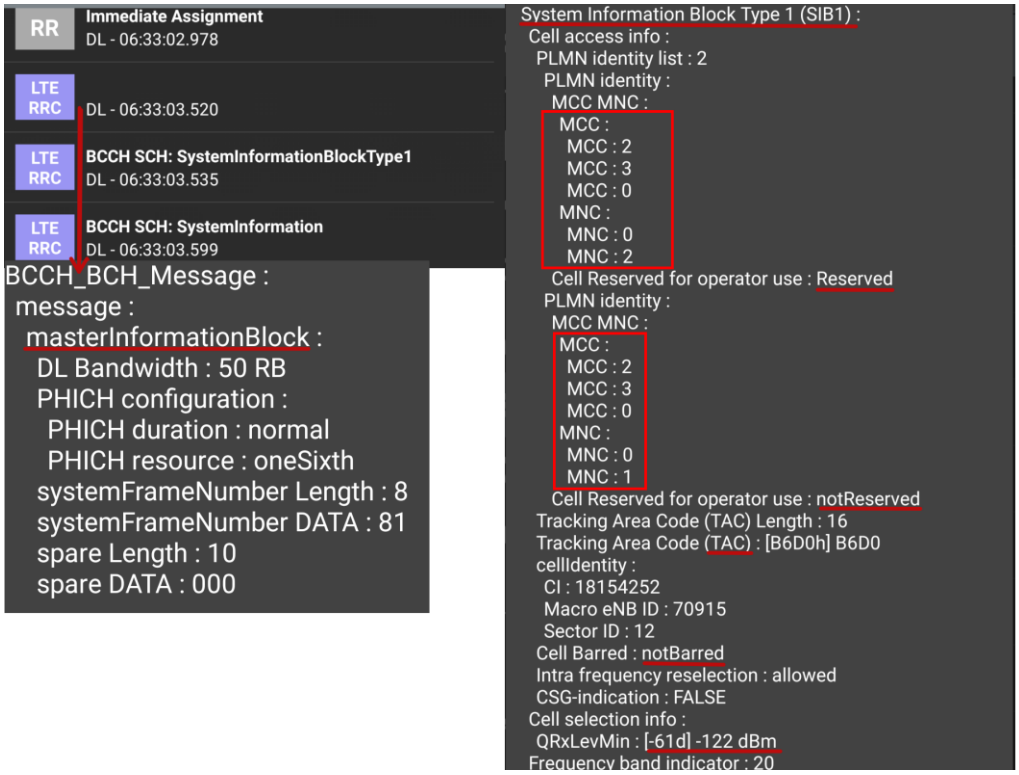
Na Obr. 5.2 je zachycen jak sled zpráv přijatých terminálem, který se nachází ve fázi přepojení z GERAN (rádiová část sítě GMS) k E-UTRAN, tak i dekódované zprávy MIB a SIB1.ZkratkyUL, DL pod jednotlivými zprávami značí, zdali se jedná o zprávu zaslanou od UE k eNodeB (UL) či naopak (DL).Zkratky LTE a RRC poukazují na využitou přístupovou technologii a na využitý protokol.Ve zprávě MIB je zobrazen počet zdrojových bloků (RB – Resource Block) pro podporovanou kmitočtovou šířku kanálu, kde 50 bloků představuje kanál o kmitočtové šířce 10 MHz, viz Tab. 5.1. Další parametry přenášené v MIB slouží pro konfiguraci kanálu PHICH. Atribut PHICH

DURATION může být buď normal nebo extended, kde normal indikuje, že zdroje pro kanál se vyskytují v prvním OFDM symbolu. Pokud by pole duration bylo rozšířené (extended) zdroje by se přenášely v prvních třech symbolech. System Frame Number slouží pro synchronizaci UE s eNodeB.

Zpráva SIB1 v obrázku napravo obsahuje následující parametry:

- PLMN identity 1 (MCC,MNC) = 230,02. Je identifikátor společnosti 02. Pro běžného uživatel je tato buňka nepřístupná neboť je ve stavu reserved. Operátoři využívají toto nastavení například při budování nových buněk.
- PLMN identity 2 (MCC,MNC) = 230,01. Identifikuje společnost T-Mobile. Tato buňka už může sloužit jako servisní pro běžného uživatele, jelikož je ve stavu notReserved.
- Tracking Area Code = B6D0. Označení oblasti, ve které se buňka nachází.
- Cell Barred = NotBarred. Tento parametr nám říká, že je možné se k buňce připojit pokud by ale parametr byl nastaven na barred tak by se zařízení k buňce připojit nemohlo. Narozdíl od atributů Reserved nemá při Cell Barred = barred k buňce povolen přístup ani UE spadající do operátorové přístupové třídy (Access Class 11,15).
- Q-RXlevmin = -122dBm minimální síla signálu nutná k připojení k buňce.

Poslední parametr Frequency band indicator = 20 značí kmitočtové pásmo, do kterého spadá frekvence na které buňka vysílá. V tomto případě se jedná o pásmo 800 MHz. Tuto frekvenci využívá T-Mobile pro zajištění co největšího pokrytí.

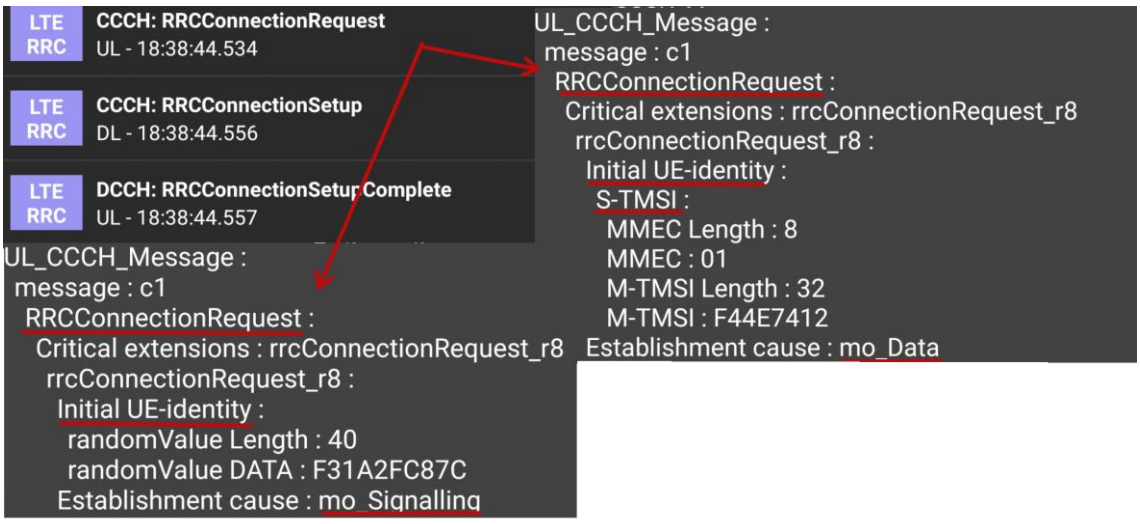


Obr. 5.2: Zprávy MIB a SIB1

Tab. 5.1: Kmitočtové šířkykanálů vztažené k počtu dostupných zdrojových bloků

Kmitočtová šířka kanálu [MHz]	1,4	3	5	10	15	20
Počet zdrojových bloků	6	15	25	50	75	100

Ze systémových informací terminál zjistí, zda se přes danou buňku může připojit do mobilní sítě, a z měření přijímané úrovně a kvality signálu, zda se jedná o nejvhodnější buňku pro prvotní přístup. Prvotní přístup je realizován přes náhodný přístupový kanál RACH. Cílem tohoto přístupu je sestavení rádiového spojení RRC (Radio Resource Control) mezi UE a eNodeB, viz Obr. 5.3. Obrázek zobrazuje dva případy zaslání zprávy RRC CONNECTION REQUEST lišící se obsahem. Pokud porovnáme tyto dvě zprávy, je patrné, že každá z nich má odlišný identifikátor UE a důvod pro sestavení spojení (establishment cause). Ve zprávě nalevo je vygenerovaná náhodná hodnota pro identifikaci UE, kdežto v druhém případě je použit identifikátor S-TMSI (SAE-Temporary Mobile Subscriber Identity). A to z toho důvodu že v případě náhodně vygenerované hodnoty není účastník registrován v oblasti TA, do které buňka náleží. V opačném případě je použito S-TMSI, které se skládá z MMEC (MME Code) a M-TMSI (M-Temporary Mobile Subscriber Identity). MMEC jednoznačně identifikuje MME ve skupině uzlů MME a M-TMSI identifikuje účastníka tím pádem je S-TMSI unikátní pro danou skupinu MME. V prvním případě (viz Obr. 5.3, zpráva vlevo) Establishment cause = mo_Signaling mo je zkratka pro mobile orignating. Značí tedy, že daný proces pochází od uživatele, který poslal žádost o sestavení spojení. Důvod sestavení spojení může v tomhle případě být buď připojení/odpojení do/od sítě nebo aktualizace polohy. V druhém případě se důvod sestavení spojení rovná parametru mo_data což může být např. inicializace hovoru, pokud by zde místo mo_data byl parametr mt_data (MobileTerminated_data) může se jednat o odpověď na zprávu paging.



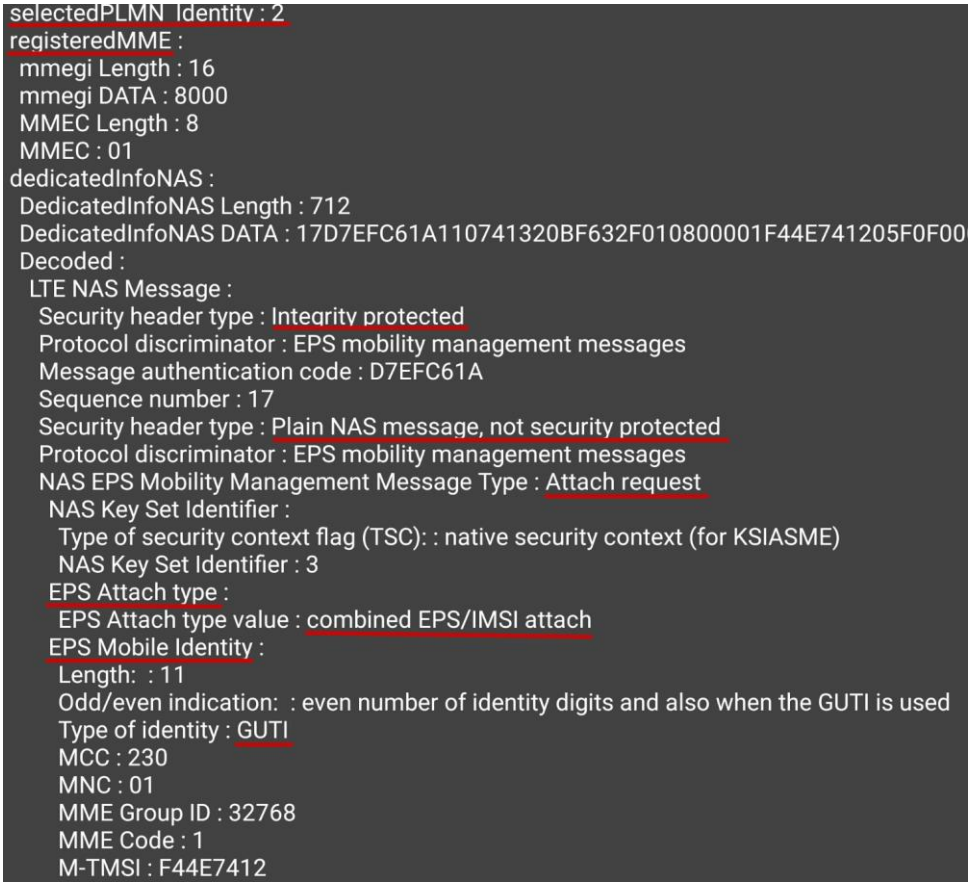
Obr. 5.3: Sestavení RRC spojení

V odpovědi od sítě na předešlou zprávu je konfigurace pro fyzické kanály čipro sestavení nového signalizačního (řídicího) nosiče. Ve zprávě RRC CONNECTION SETUP COMPLETE se přenáší velké množství parametrů a v rámci praktické části

byly vybrány a popsány jen ty nejdůležitější z nich .

V první vybrané části zprávy (Obr. 5.4) je první položka „selectedPLMN_ Identity“ = 2, která odkazuje na zprávu SIB1 zmíněnou výše a oznamuje tedy vybranou buňku spadající pod T-Mobile. Následující parametr registeredMME je obsažen ve zprávě, pokud již účastník byl registrován u MME (druhý případ žádosti o RRC spojení – viz Obr. 5.3) a skládá se z identifikátoru MMEGI (MME Group Identity), který identifikuje MME ve určité skupině uzlů MME a identifikátoru MMEC (MME Code), který identifikuje MME v rámci skupiny MMEGI.

Dále je vidět, že je ve zprávě zapouzdřená zpráva NAS pro MME, která zaručuje integritu ale není šifrovaná (Plain NAS messeage, not security protected). Poté je oznámen druh zprávy (Attach Request) a jedná se o tzv. combined EPS/IMSI attach, který byl detailně popsán v kapitole 4.1.2. V parametru Type of identity lze nalézt M-TMSI který je stejný jako ve zprávě RRC CONNECTION REQUEST.

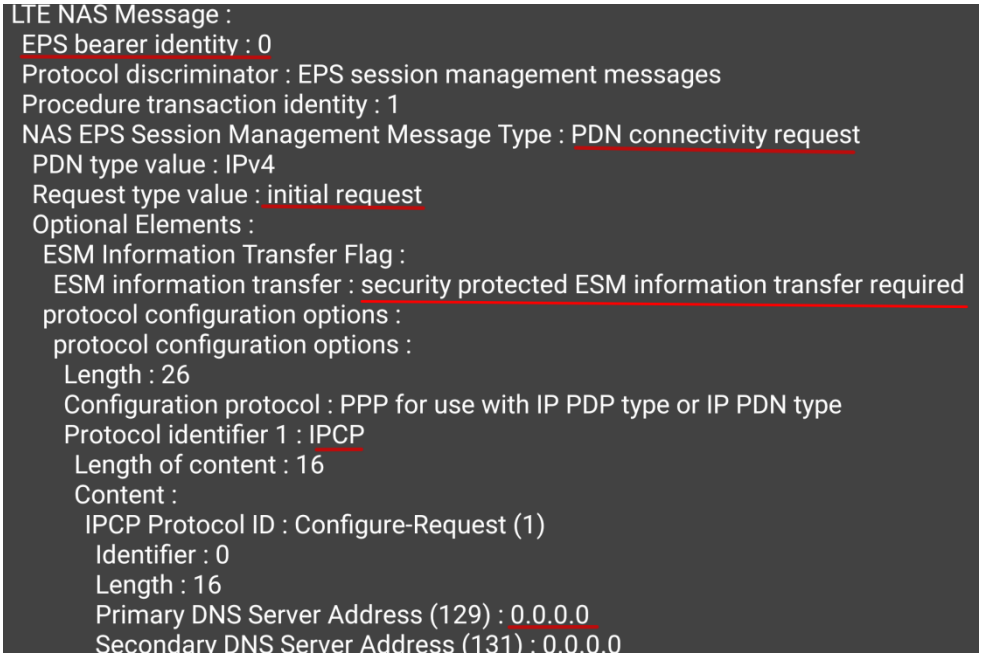


Obr. 5.4: Zpráva „RRC connection setup complete“ s „Attach Request“

Na Obr. 5.5 je zobrazena další část zprávy connectionSetupComplete. Konkrétně je zde vidět opět zpráva typu NAS „PDN Connectivity Request“. EPS bearer identity = 0 značí, že nebyl dosud přiřazen žádný EPS nosič. IPCP (Internet Protocol Control Protocol) je protokol, který v tomhle případě slouží pro přiřazení adresy primárního a sekundárního DNS serveru.V této zprávě je identifikátor, který požaduje zaslání některých informací pro dané spojení v zabezpečené NAS zprávě. Jedná se o zprávu ESM session responses (Obr. 5.6), ve které se nachází požadované APN či žádost

o přiřazení adresy terminálu.

Dále se ve zprávě posílají schopnosti a vlastnosti terminálu, viz Obr. 5.7. Červeně zvýrazněné parametry ohledně hlasových služeb a využití terminálu jsou posílány síti pro indikaci preference metody CSFB/VoLTE a zda terminál bude využit zejména pro datové služby nebo hlasové. V tomto případě je terminál určen pro hlasové služby (atribut Voice Centric). A preferovaná metoda pro uskutečnění hovoru je CSFB (atribut CS Voice only). Pokud tedy síť neposkytuje využití metody CSFB je terminál nucen vyhledat jinou síť. Více o této problematice a možných stavech je pojednáno v kapitole 4.1.1.



Obr. 5.5: Zpráva „RRC connection setup complete“ a „PDN connectivity Request“

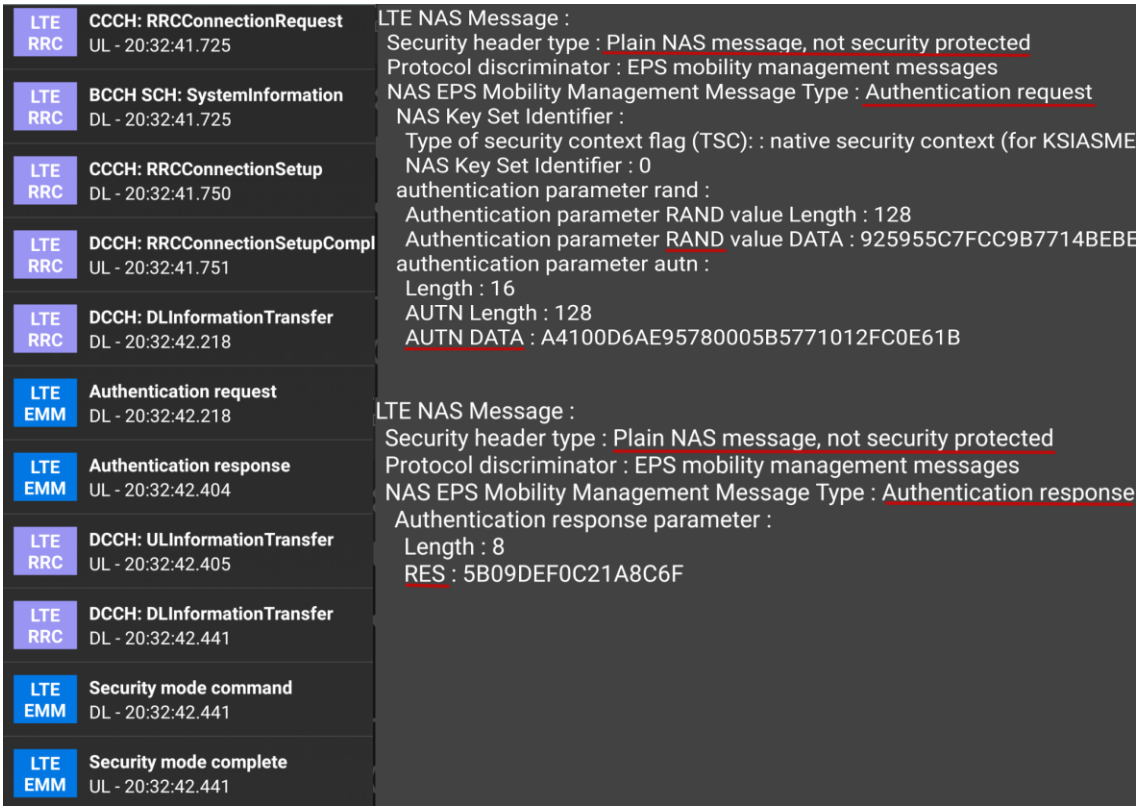
```
Protocol discriminator : EPS session management messages
Procedure transaction identity : 1
NAS EPS Session Management Message Type : ESM information response
 Optional Elements :
  access point name :
   access point name :
    Length : 4
    Access point name value : vut
  protocol configuration options :
   protocol configuration options :
    Length : 29
    Configuration protocol : PPP for use with IP PDP type or IP PDN type
    Protocol identifier 1 : IPCP
     Length of content : 16
     Content :
      IPCP Protocol ID : Configure-Request (1)
       Identifier : 0
       Length : 16
       Primary DNS Server Address (129) : 0.0.0.0
       Secondary DNS Server Address (131) : 0.0.0.0
    Container identifier 1 : DNS Server IPv4 Address Request
     Length of content : 0
    Container identifier 2 : IP address allocation via NAS signalling
     Length of content : 0
```

Obr. 5.6: Zpráva „EPS information response“

```
PS capability : PS capability present
SS Screen Indicator : Capability of handling of ellipsis notation and phase 2 error handling
SM capability : Mobile station supports mobile terminated point to point SMS
VBS : no VBS capability or no notifications wanted
VGCS : no VGCS capability or no notifications wanted
FC : The MS does not support the E-GSM or R-GSM band
CM3 : The MS supports options that are indicated in classmark 3 IE
LCSVA Capability : LCS value added location request notification capability supported
UCS2 : The ME has a preference for the default alphabet
SoLSA : The ME does not support SoLSA
CMSP : 'Network initiated MO CM connection request' not supported
A5/3 : Encryption algorithm A5/3 available
A5/2 : Encryption algorithm A5/2 not available
Additional Update Type : CS Fallback not preferred
Voice Domain Preference and UE"s Usage Setting :
Length : 1
UE's usage setting : Voice centric
Voice domain preference for E-UTRAN : CS Voice only
```

Obr. 5.7: Zpráva „RRC connection setup complete poslední část“

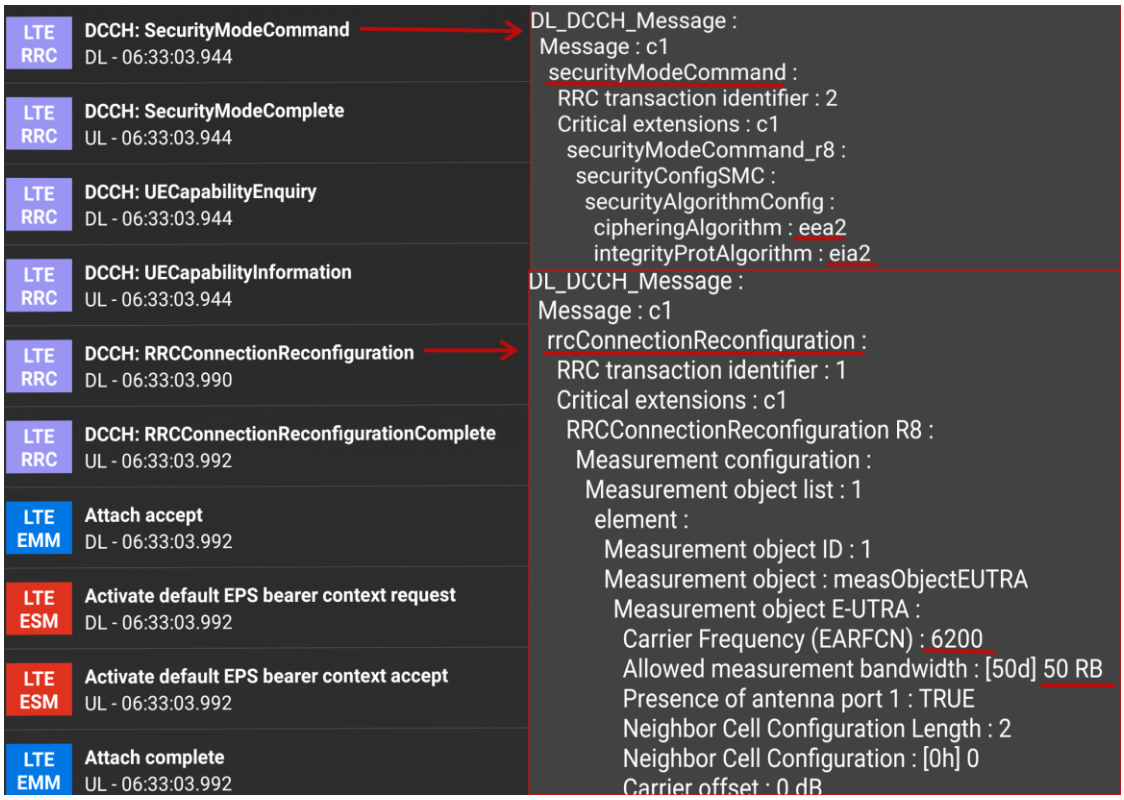
V případech, kdy účastník nebyl v dané oblasti registrován a autentizován, následuje nešifrovaná autentizace účastníka. Tyto zprávy jsou zobrazeny na Obr. 5.8, ze kterého je patrné, že se jedná o komunikaci NAS (Non Access Stratum), tedy signalizace mezi UE a MME. Dále je zvýrazněn typ zprávy, parametr RAND nutný pro výpočet odpovědi RES a parametr AUTN pro autentizaci sítě.



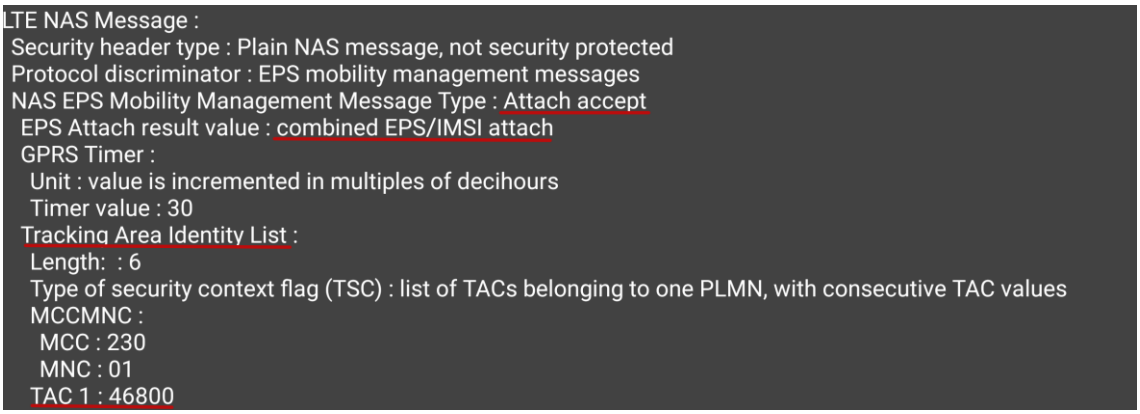
Obr. 5.8: Připojení k LTE s autentizací

Pokračování připojení terminálu do sítě EPS je zobrazeno na Obr. 5.9, kde je dekódována zpráva SecurityModeCommand a část zprávy RRCConnectionReconfiguration. Při porovnání předešlého sledu zpráv (Obr. 5.8) s nynějším (Obr. 5.9) si lze povšimnout odlišnosti v protokolu, kterým je přenášena zpráva SecurityMode Commnad/Complete. V případě využití protokolu EMM (EPS Mobility Management) se nakonfiguruje bezpečnost komunikace mezi UE-MME tedy v rámci NAS. V druhém případě je využit protokol RRC a z dekódované zprávy SecurityModeCommand lze vyčíst použité algoritmy jak pro šifrování (eea2 založeného na Advanced Encryption Standard), tak pro zaručení integrity (eia2 Advanced Encryption Standard) mezi UE a eNodeB. Dále si síť vyžádá informace (UECapabilityEnquiry) o schopnostech terminálu v rádiové přístupové části. Terminál odpovídá zprávou (UECapabilityInformation) např. jsou zde podporující pásma.

V následující zprávě RRCConnectionReconfiguration se přenáší informace o kanálu EARFCN (EUTRA Absolute Radio-Frequency Number) na který by se terminál mohl připojit. V tomto případě je kanál roven 6200, který spadá do pásma 20, jak bylo uvedeno ve zprávě SIB1. Šířka pásma je 10MHz, stejně jak bylo uvedeno ve zprávě MIB. V této RRC zprávě je přenášena i NAS zpráva Attach Accept, viz Obr. 5.10. Jak je vidno, jedná se o odpověď na kombinovaný EPS/IMSI attach. Nachází se zde také parametr TrackingAreaIdentityList pro pohybování UE bez nutnosti aktualizace polohy, bohužel se v naměřeném případě jedná jen o jednu právě aktuální TA 46800.

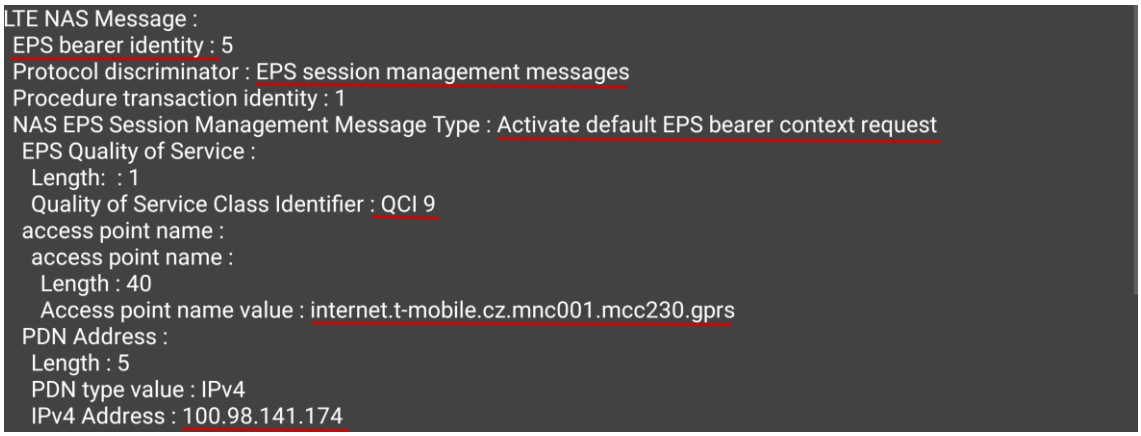


Obr. 5.9: Připojení k LTE - druhá část



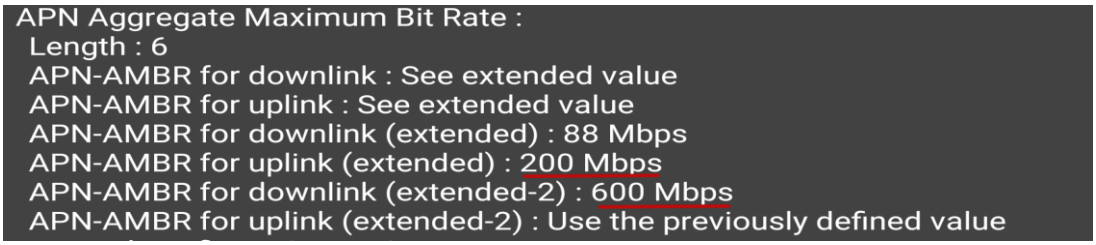
Obr. 5.10: Attach accept

Součástí zprávy Attach Accept je i kontejner obsahující zprávu pro aktivaci defaultního nosiče, viz Obr. 5.11. Nyní už je identifikován EPS nosič (EPS bearer identity = 5). Dále je označen protokol EPS Session management, který se stará o přenášení informací ohledně sestavování datových spojení (např. přidělování adres, maximální rychlost nosičů pro UE atd.). Parametr QCI je identifikátor priority a oznamuje síti, jak s takovými nosiči má být zacházeno. Defaultní nosič pro internet byl vytvořen s QCI 9. Tato hodnota odpovídá nejmenší nárokům nosiče na přenos, viz Tab. 1.1. APN určuje přístupový bod pro internet v rámci operátora T-Mobile. Poslední parametrem zachyceným v první časti zprávy aktivace nosiče je IPv4 adresa UE (100.98.141.174).



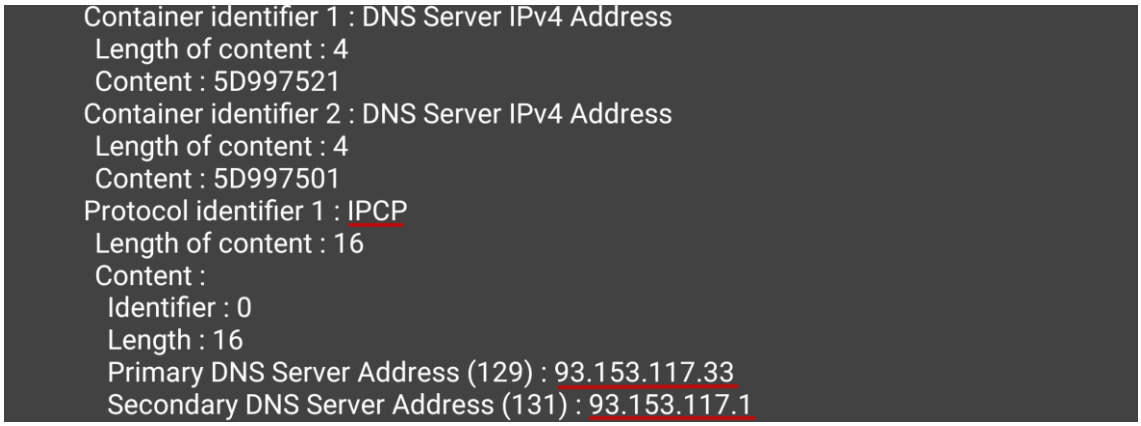
Obr. 5.11: Aktivace defaultního nosiče první část

V následující části se přenášejí limity maximální rychlostí pro APN, viz Obr. 5.12. Tato problematika byla popsána v kapitole 1.2.Maximální rychlost je vždy ta největší z posílaných.V tomto případě je tedy pro pro downlink 600 Mb/s a pro uplink 88Mb/s. Více informací o významu parametru APN-AMBR lze najít v [37].



Obr. 5.12:Aktivace defaultního nosiče druhá část (AMBR)

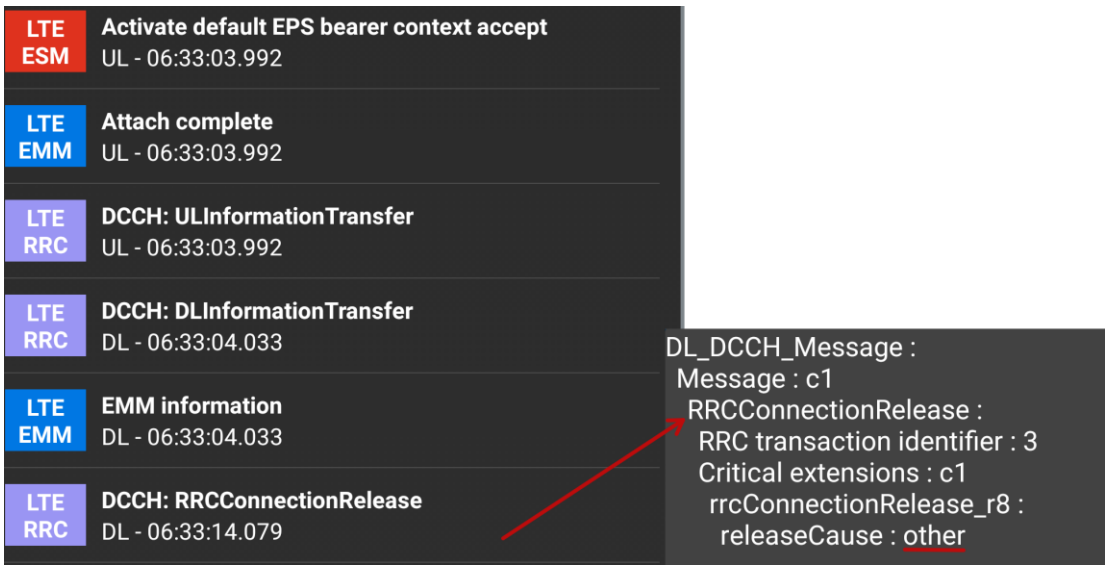
Poslední část (Obr. 5.13) přenášená ve zprávě pro aktivaci defaultního nosiče obsahuje IP adresy pro DNS server vyžadované v PDNConectivityRequest (Obr. 5.5).



Obr. 5.13: Aktivace defaultního nosiče třetí část

Na konci procedury dojde k uvolnění rádiových zdrojů (Obr. 5.14), které byly potřebné pro učinění procedur za účelem přepojení terminálu z 2G/3G do sítě EPS. Na příkladu z měření je označen důvod k ukončení spojení jako OTHER což může být více situací ale v tomto případě to je s největší pravděpodobností protože vypršel tzv. user

inactivity časovač. Tzn. právě to, že terminál negeneroval nebo nepřijímal žádný provoz v síti.

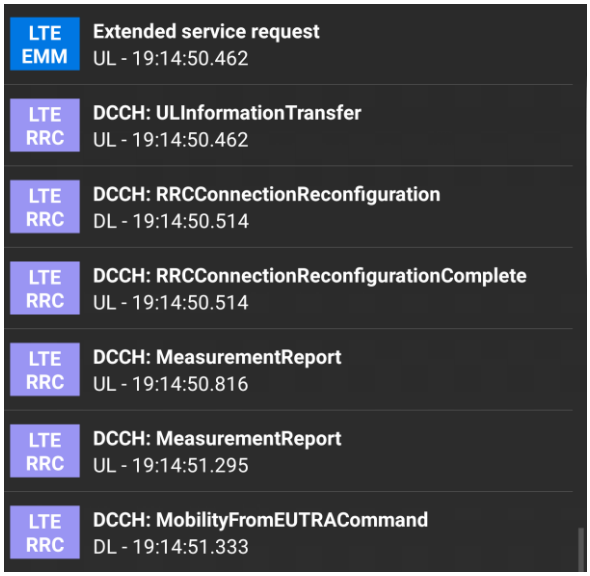


Obr. 5.14: Uvolnění rádiových zdrojů

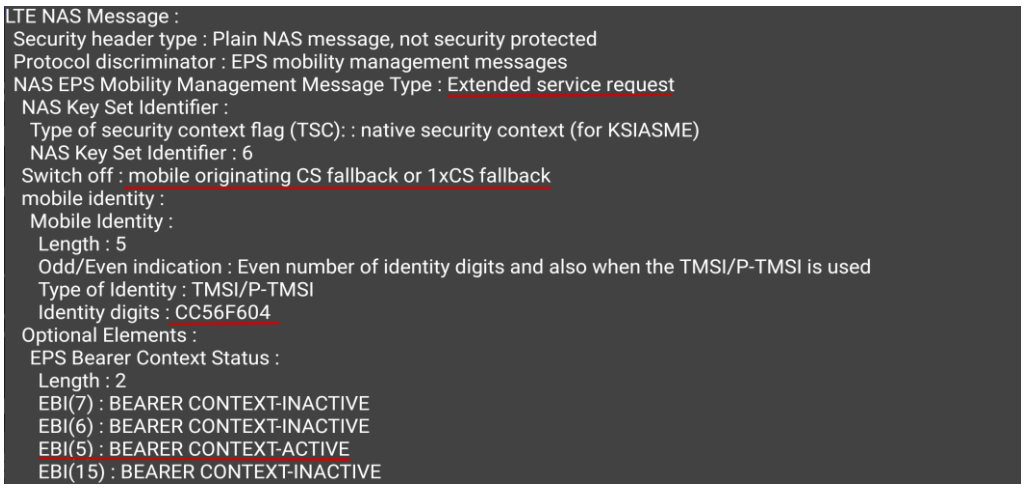
5.1.2 Metoda CSFB v síti T-MOBILE

Další měření bylo zaměřeno na metodu CSFB, které byla v práci věnována velká pozornost jakožto rozsáhlému a stále velmi aktuálnímu řešení hovorové služby v sítích EPS.

Naměřený sled zpráv je zachycen na Obr. 5.15, kde vše začíná zprávou EXTENDED SERVICE REQUEST s předpokladem dříve sestaveného rádiového spojení UE s eNodeB, které bylo popsáno a vysvětleno výše. Tato zpráva se přenáší mezi UE-eNodeB jako ULInformationTransfer. Dekódovaná zpráva NAS pro MME kde UE žádá o hovorovou službu za využití metody CSFB je zobrazena na Obr. 5.16.V tomto logu je vidět název zprávy EXTENDED SERVICE REQUEST, dále se zde vyskytuje požadavek na CS fallback. Samozřejmostí je dočasná identifikace UE tentokrát pomocí TMSI/P-TMSI, jelikož bude následovat spolupráce s 2G/3G. Poslední vyznačený parametr je aktivní nosič 5, který byl již dříve sestaven.



Obr. 5.15: Metoda CSFB v síti T-Mobile - první část

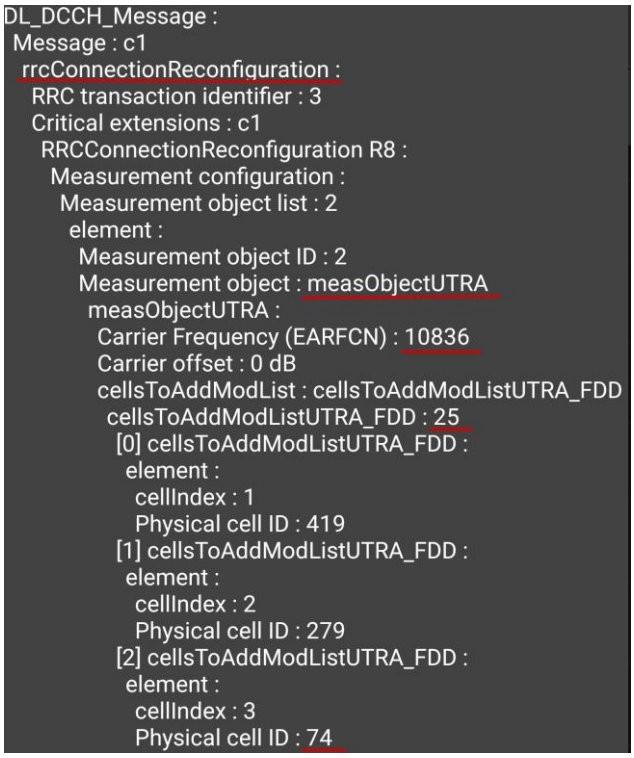


Obr. 5.16: Zpráva Extended Service Request zaslaná od UE při aktivaci požadavku na hovorovou službu řešenou pomocí CSFB

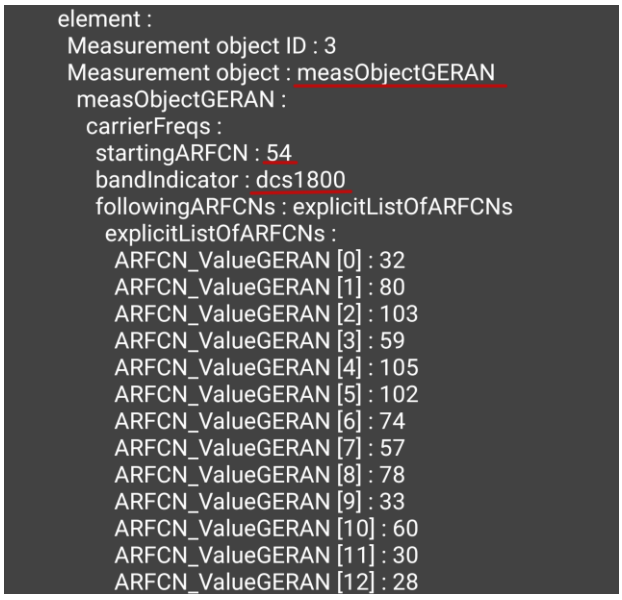
Terminál po zaslání požadavku o CSFB přijímá zprávu RRCConnectionReconfiguration, ve které se nachází informace potřebné pro přepojení do sítě UMTS nebo do GSM. První část zprávy je zobrazena na Obr. 5.17, kde je vidět o jakou zprávu se jedná. Dále je vyznačen parametr measObjectUTRA, ve kterém je definován kanál (EARFCN 10836)a jsou vylistovány jednotlivé buňky (celkem 25) na kterých má stanice provádět měření. Ačkoliv je zde parametr vyznačen jako PCI, ve skutečnosti se v UMTS jedná o parametr PSC (Primary Scrambling Code), který slouží ke stejnému principu jako PCI v sítích 4G tedy k rozeznání signálu od různých buněk.

Druhá část zprávy je zobrazena na Obr. 5.18. Zde je identifikován další objekt na měření (measObjectGERAN) a tentokrát se jedná o přístupovou rádiovou část sítě GSM. Zde je uvedeno startovací číslo kanálu 54 a další kanály, na kterých může být provedeno měření pro případný handover. Ve zprávě je také uveden indikátor frekvenčního pásma, který odkazuje na dcs1800, pokud se ale kanály přenášené v

zprávě převedou na frekvenci, je jasné, že kanály patří do jiného pásma (900 MHz) Špatná hodnota indikátoru může být způsobena nesprávnou konfigurací sítě nebo nekorektním dekódováním daného atributu softwarem QualiPoc. Tím, že je to zřejmě jen označení pásma, tak tento atribut nemá zásadní vliv na fungování sítě.

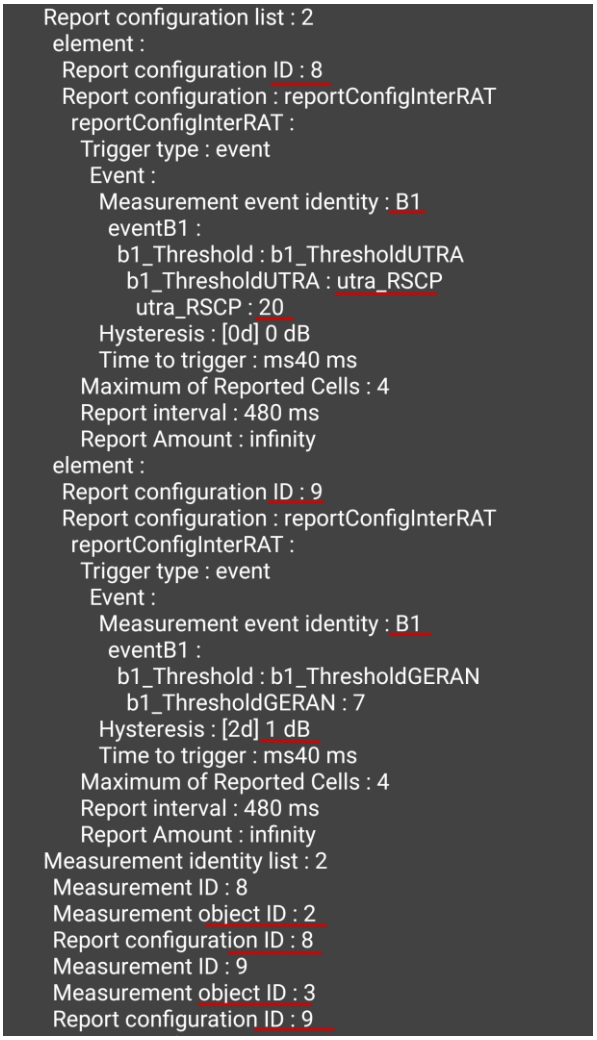


Obr. 5.17: Zpráva„RRC connecction reconfiguration“ před handoverem do UMTS 1. část



Obr. 5.18: Zpráva „RRC connection reconfiguration“ před handoverem do UMTS 2. část

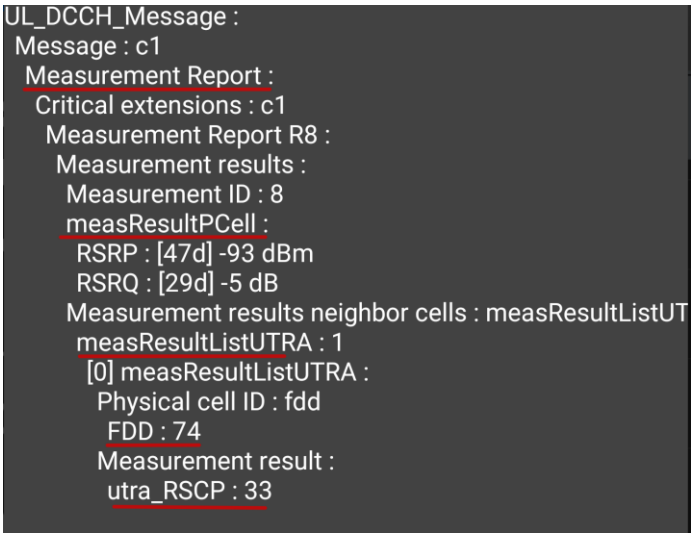
V poslední části je zobrazen Report configuration list, viz Obr. 5.19. Zde je definována událost která spustí odeslání měřících záznamů do sítě. Jedná se o událost B1 jak v případě UMTS tak GSM. Tato událost je splněna pokud má sousední buňka z 2G/3G sítě lepší naměřené hodnoty týkající se přijímaného signálu, než je definovaná hranice. V naměřeném případě je sledován parametr RSCP (Received Signal Code Power), který nám udává úroveň signálu na určitých fyzických kanálech. Pokud je tedy ve zprávě hodnota utra_rscp: 20 znamená to, že signál od určité buňky musí být přijímán s úrovní alespoň -95 dBm (20 - 115 dBm). Další parametr Hysteresis se rovná nule a to znamená, že buňka při měření není nijak znevýhodněná. Pokud se parametr rovná např. 1dB jako v druhém případě u GSM, musí se tato hodnota přičíst k hodnotě 7, která určuje potřebnou úroveň přijímaného signálu. Jako poslední část je measurement Identity list, který nám jen odkazuje na měřící objekty (UTRA, GSM, viz Obr. 5.17, Obr. 5.18) a na konfiguraci reportů, ve kterých je specifikováno, v případě jaké události se má spustit zasílání měřicích záznamů.



Obr. 5.19: Zpráva„RRC connection reconfiguration“ před handoverem do UMTS 3. část

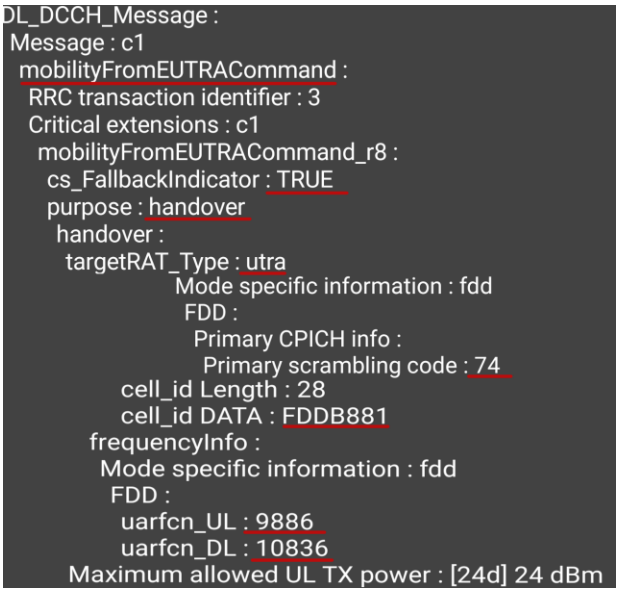
Jakmile se splní podmínky události B1 zašle terminál síti měřicí report, viz Obr. 5.20. Ze zprávy lze vyčíst naměřené hodnoty pro právě připojenou buňku (measResultPcell), kde RSRP (Reference Signal Received Power) oznamuje úroveň

referenčního signálu a je ekvivalentem RSCP v síti 3G. Druhý parametr RSRQ (Reference Signal Received Quality) udává kvalitu přijímaného signálu v závislosti na hodnotách signálu a rušení (šumu). V poslední části zpráva přenáší informace o naměřené sousední buňce s identifikátorem 74 a naměřenou hodnotu RSCP 33, která splňuje požadavky z předešlé zprávy.



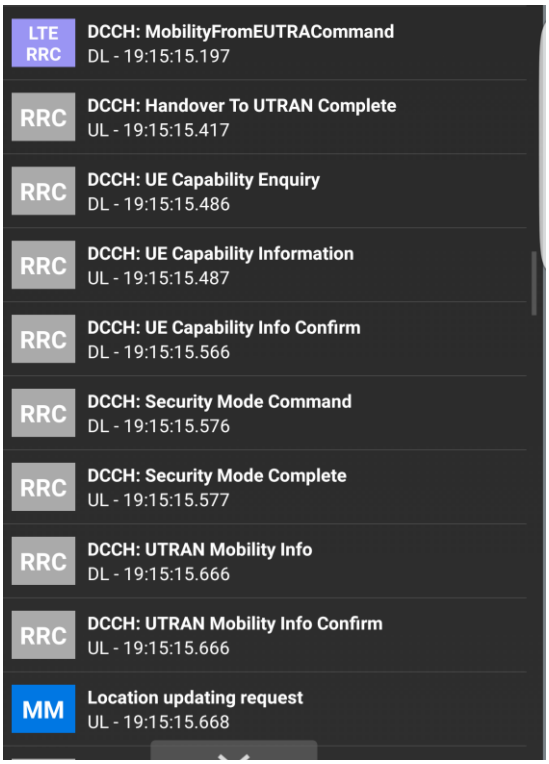
Obr. 5.20: Měřicí report od UE pro eNodeB

Jakmile se rezervují zdroje v síti UMTS potřebné pro handover, přijme UE od eNodeB zprávu pro vykonání handoveru (Obr. 5.21), která byla vygenerována dle požadavku ze 3G sítě. Na obrázku je zobrazen jen výtažek ze zprávy, zejména zde nejsou informace o přiřazených zdrojích a mapování na různé kanály. Poslané parametry nám indikují, že se jedná o CSFallback za účelem vykonání handoveru do sítě UMTS (targetRAT_Type:utra). Je zde vidět už dříve zmíněný Primary Scrambling Code buňky (PSC:74) a také identita buňky (cell_id: $FDDB881_{hex}$ 266188929_{dec}). Jako poslední parametr je zachycený kanál pro uplink (9886) a downlink (10836) na kterém se provádělo měření, viz Obr. 5.17.

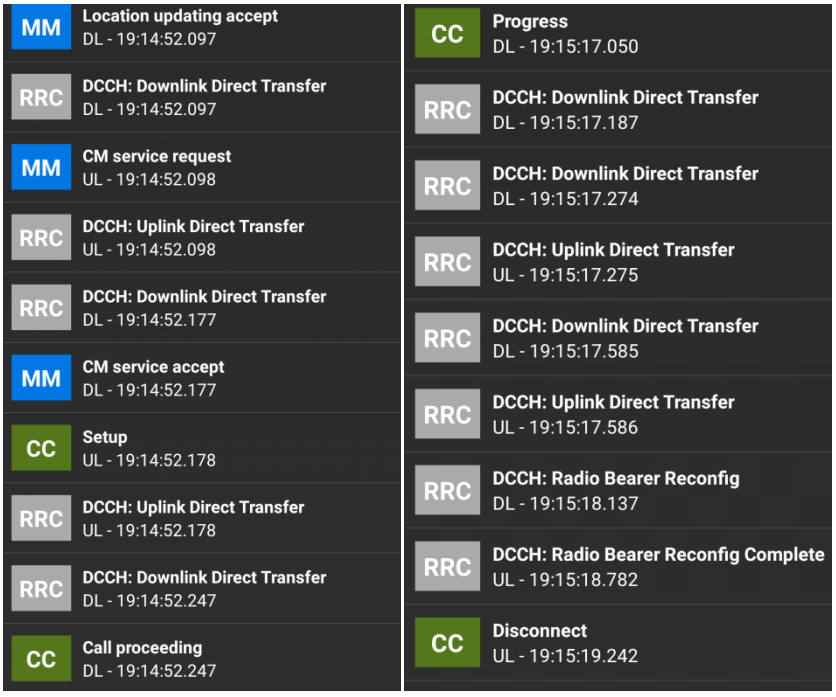


Obr. 5.21: Zpráva„Mobility from EUTRA command“

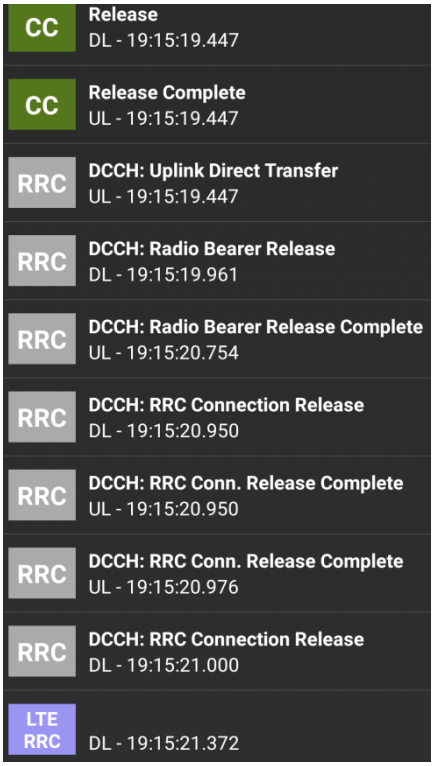
Dokončení procesu handoveru do sítě UMTS je vidět na Obr. 5.22. Zpráva HandoverToUTRANComplete už je určena pro nodeB, nikoliv eNodeB. Tímto je potvrzen přechod do sítě 3G a vyvolána procedura pro uvolnění zdrojů v síti EPS. Dále následují klasické procedury v síti UMTS (Obr. 5.23, Obr. 5.24). Jedná se o procesy, které jsou nutné pro registraci terminálu a inicializaci hovoru. Ze zachycených zpráv je vidět výměna informací o schopnostech terminálu (UECapabilityEnquiry). Následuje aktivace šifrování, informace o síti UMTS, zahájení aktualizace polohy, žádost o službu, sestavování hovoru a následné odmítnutí hovoru volaným účastníkem.



Obr. 5.22: Zpráva „Handover to UMTS complete“



Obr. 5.23: Realizace hovoru v síti UMTS první část



Obr. 5.24: Realizace hovoru v síti UMTS druhá část

Po ukončení hovoru při uvolňování zdrojů dostane terminál od sítě ve zprávě RRCConectionRelease informace o kanálech pro snadnější přepnutí zpět na síť EPS. Výtažek ze zprávy je zachycen na Obr. 5.25.

```
rrcConnectionRelease_v860ext :
 redirectionInfo : interRATInfo
  interRATInfo : eutra
   eutra :
    eutra_TargetFreqInfoList : 3
     [0] eutra_TargetFreqInfoList :
      element :
       dlEUTRACarrierFreq : 449
     [1] eutra_TargetFreqInfoList :
      element :
       dlEUTRACarrierFreq : 1473
     [2] eutra_TargetFreqInfoList :
      element :
       dlEUTRACarrierFreq : 6200
```

Obr. 5.25: Zpráva „RRC connection release“

5.2 Měření v experimentální síti FEKT VUT

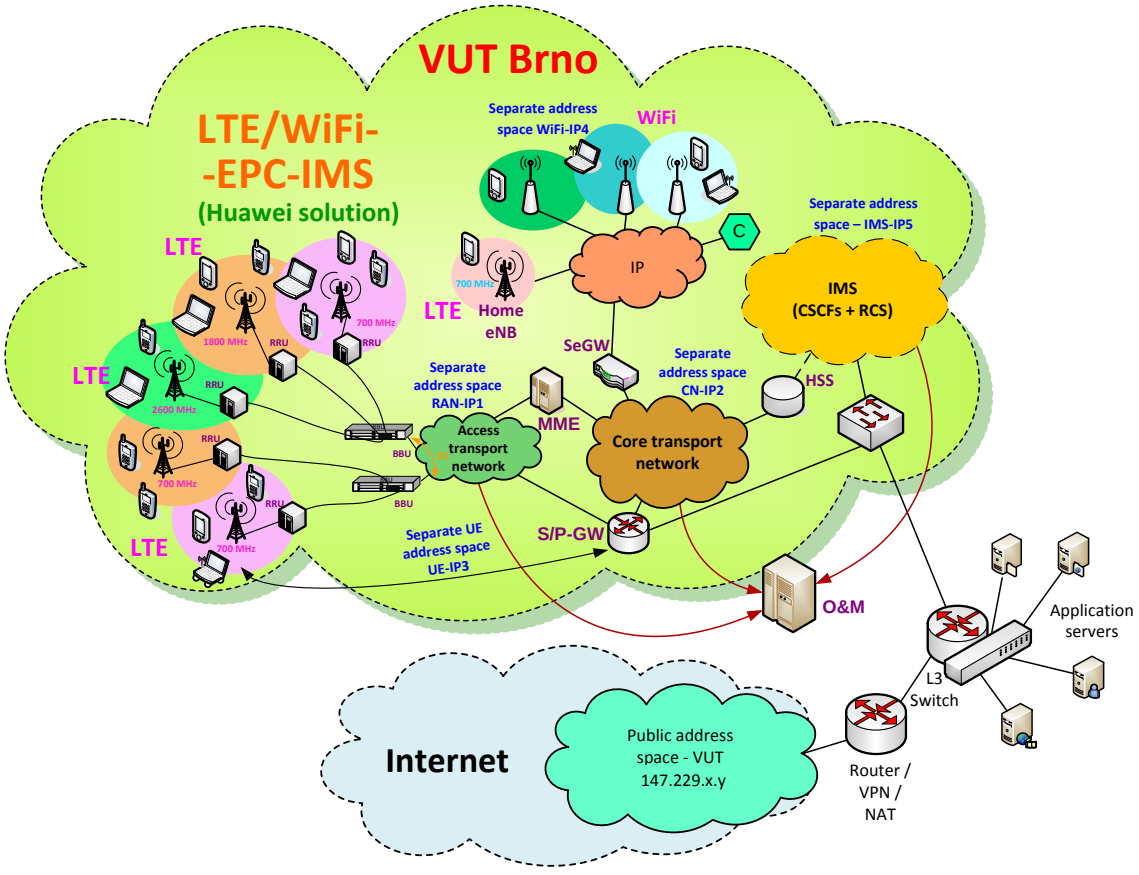
Pro další díl praktické části práce byla využita mobilní experimentální síť 4.generacevybudovaná na Fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií. Tato síť poskytuje různé služby v rámci systému EPS, podporuje spolupráci EPS-IMS a experimentální síť také disponuje například i tzv. Home eNodeB, což je přístupový bod, který vytváří malou buňku pro uzavřenou účastnickou skupinu a který pokrývá

například oblast jako obchod, a je propojen do EPS systému.

V předchozím testování bylo provedeno měření v síti EPS T-Mobile pouze v části E-UTRA neboli LTE. Pro měření v experimentální síti byly využity mobilní přístroje Samsung Galaxy Edge S6 a Samsung Galaxy S4. Jelikož se nachází tzv. jádro sítě EPS v serverovně, na fakultě FEKT je možné zrcadlit komunikaci probíhající mezi jednotlivými uzly v části EPC. Konkrétně se jedná o rozhraní X2 (eNodeB-eNodeB), S1-MME (eNodeB-MME), S6a (MME-HSS), S11 (eNodeB-SGW). Právě této možnosti zrcadlení bylo využito při testování experimentální sítě, kde zrcadlená komunikace je vyvedena do laboratoře a zde připojena k PC. Pro zachycení a dekódování komunikace na PC byl využit známý software pro zachytávání a analýzu zpráv v IP sítích Wireshark.

5.2.1 Architektura experimentální sítě

Architektura sytému EPS a IMS byla popsána v kapitole 1.1, respektive v kapitole 2.1. Samotná architektura experimentální sítě by se neměla nijak výrazně lišit, jelikož byla vybudována dle standardu 3GPP. Celkové řešení experimentální sítě je zobrazeno na Obr. 5.26.



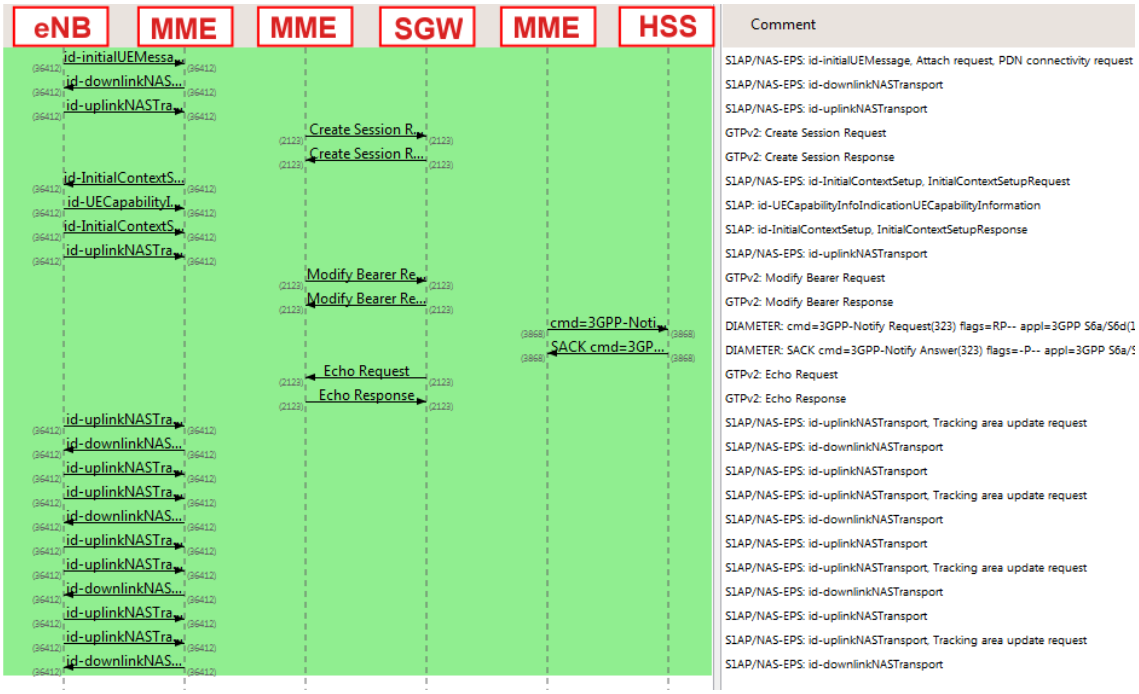
Obr. 5.26: Architektura experimentální sítě[21]

Z obrázku je patrné, že síť disponuje více přístupovými technologiemi, jako je LTE a WLAN. V jádru systému EPS se nachází prvky jako MME, S-GW, P-GW a také prvek SeGW (Security GateWay), který slouží pro zabezpečení přenosu mezi EPS a

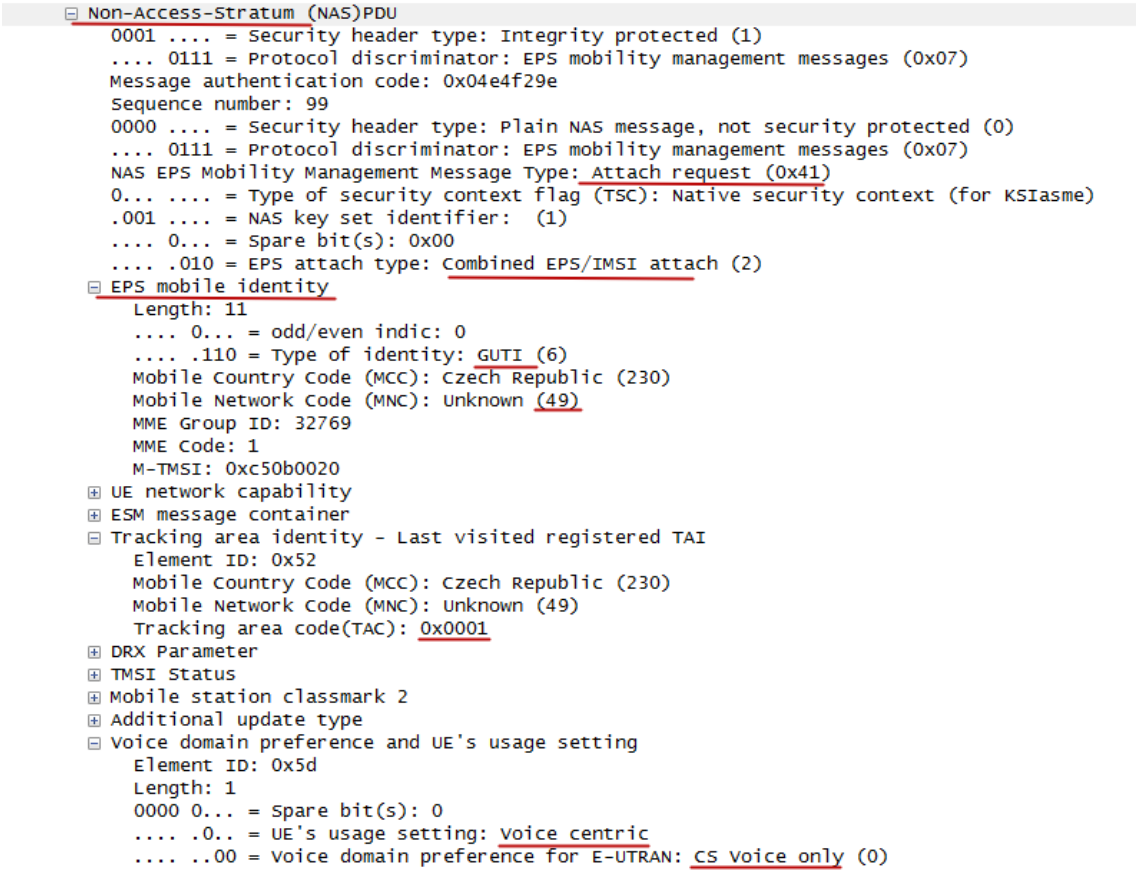
nedůvěryhodnými sítěmi typu non-3GPP, např. WiFi. Je nutné podotknout, že v samotném řešení experimentální sítě jsou jednotky S-GW a P-GW sjednoceny a této jednotce se říká UGW (Unified Gateway). Co se týče HSS serveru, tak experimentální síť oplývá dvěma - EPS systém má svůj vlastní a IMS systém má také svůj vlastní HSS server.

5.2.2 Analýza základních řídicích procedur

Jako první byly zachyceny zprávy pří přihlášení účastníka do sítě, viz Obr. 5.27. Z naměřených informací lze vidět zprávu zahajovací, která je přeposlána přes eNodeBk MME. Zahajovací zpráva byla zachycena i v předešlém měření v E-UTRAN části sítě T-Mobile (Obr. 5.4,Obr. 5.5,Obr. 5.7). Pro porovnání této dekódované zprávy se zprávou ze sítě T-Mobile slouží obrázekObr. 5.28. Ze zprávy lze vyčíst následující informace: jedná se o NAS komunikaci, kontejner mobility management obsahuje zprávu Attach Request a žádá o kombinované EPS/IMSI připojení, identifikátor terminálu je ve formátu GUTI, kód operátora je 49, kód sledovací oblasti je 1 a nakonec je zvýrazněna preference hlasové služby pomocí metody CSFB.



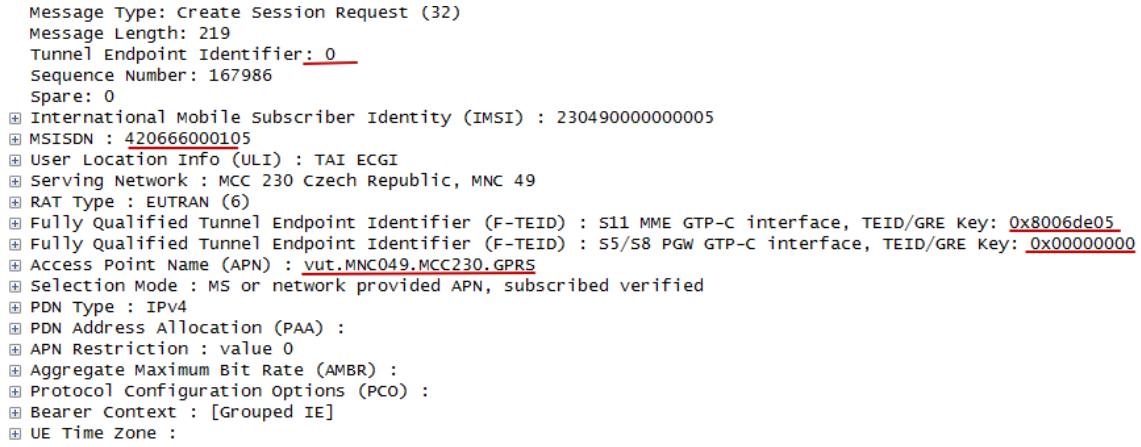
Obr. 5.27: Přihlášení do experimentální sítě



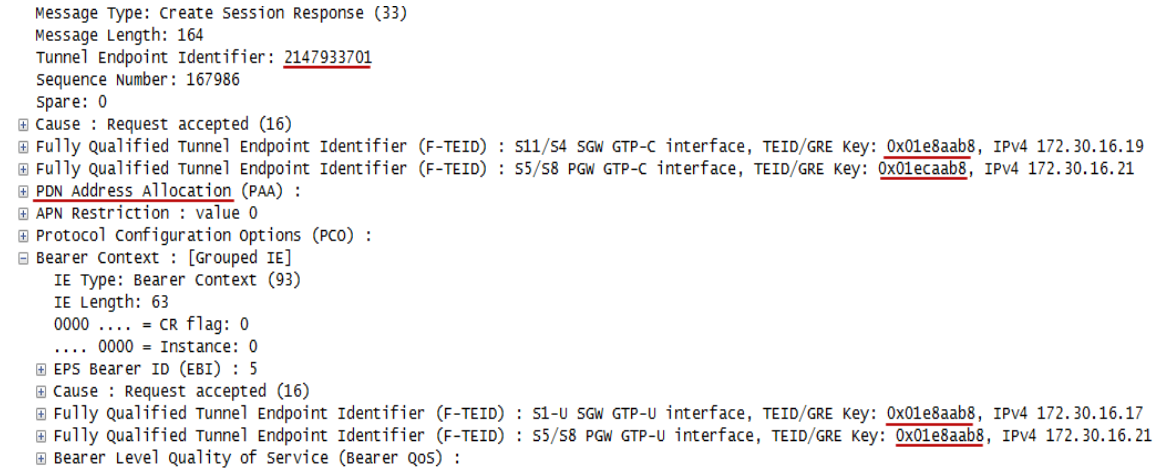
Obr. 5.28: Zpráva„Initial message“v experimentální síti FEKT

Další dekódovaná zpráva CREATE SESSION REQUEST zaslána z uzlu MME do S-GW neboli do tzv. UGW (Unified Gateway) neboť uzel S-GW a P-GW jsou sjednoceny do jednoho. Z dekódované zprávy (Obr. 5.29), jsou vidět parametry, které se přenáší za účelem sestavení nosiče. Zatím ve zprávě není identifikováno ID koncového uzlu tunelu GPRS (Tunnel Endpoint Identifier). Dále lze vyčíst číslo IMSI a číslo MSISDN (Mobile Subscriber ISDN Number), což je vlastně telefonní číslo účastníka. Významný parametr je taktéž tzv. Fully-TEID, který identifikuje koncový bod tunelu pro vytvoření řídicího spojení mezi MME a SGW. Jedná se tedy o rozhraní S11. APN nám značí s jakým přístupovým bodem (VUT.MNC049.MCC230.GPRS) se má sestavit spojení.

Odpověď na žádost o vytvoření spojení (Obr. 5.30) dostává MME zpět a již obsahuje koncový identifikátor vytvořeného tunelu. Tento identifikátor byl zaslán v minulé zprávě akorát v hexadecimální podobě. Jedná se tedy o hodnotu 0x8006de05 což po převodu do dekadické soustavy je rovno 2147933701. Dále lze ze zprávy vyčíst F-TEID pro komunikaci mezi S-GW a 2G/3G konkrétně s SGSN (Serving GPRS Support Node) zde se jedná o rozhraní S4. Také je přeposlán dříve požadovaný F-TEID pro rozhraní S5/S8. Pod atributem PDN Address Allocation se nachází přidělená adresa pro uživatele. Následující identifikátory ve zprávě slouží pro sestavení tunelu za účelem přenosu uživatelských dat.



Obr. 5.29: Zpráva „Create session request“ v síti FEKT



Obr. 5.30: Zpráva„Create session response" v síti FEKT

MME poté pošle uzlu eNodeB informace získané od SGW/PGW. Tato zpráva se nazývá Initial Context Setup Request a její dekódovaná část zobrazena na Obr. 5.31. Hodnota AMBR neboli agregovaná maximální dosažitelná rychlost pro uživatelské zařízení je udávána v kb/s. Dále je přenášen identifikátor nosiče E-RAB (E-RAB-ID 5) a identifikátor třídy QoS (QCI 9). Také lze ve zprávě vidět, že MME přeposílá taktéž identifikátor GTP tunelu pro uživatelská data tedy identifikátor SGW.

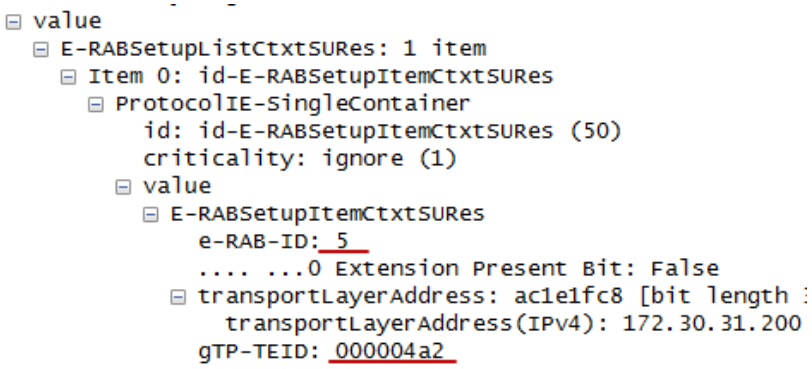
Ze zprávy UE capability info (Obr. 5.33), kterou přeposílá eNodeB pro MME, je vidět přehled jaká kmitočtová pásma zařízení podporuje - 1, 2, 4, 5, 7, 17. V následující zprávě InitialContextSetupResponse posílá eNodeB svůj identifikátor pro sestavení GTP tunelu. V této chvíli je již sestavený tunel GTP-U ve směru od uživatele nikoliv však k uživateli jelikož SGW stále čeká na koncový bod pro rozhraní S1-U. Jakmile však MME přepošle uzlu SGW hodnotu TEID (zpráva Modify bearer request viz Obr. 5.34) získanou od základnové stanice, potvrdí uzel SGW entitě MME sestavení nosiče. V této chvíli je sestaven nosič i ve směru k uživateli.

```
        id: id-uEaggregateMaximumBitrate (66)
        criticality: reject (0)
      ⊟ value
        ⊟ UEAggregateMaximumBitrate
            uEaggregateMaximumBitRateDL: 150000000
            uEaggregateMaximumBitRateUL: 75000000
⊟ Item 3: id-E-RABToBeSetupListCtxtSUReq
  ⊟ ProtocolIE-Field
      id: id-E-RABToBeSetupListCtxtSUReq (24)
      criticality: reject (0)
    ⊟ value
      ⊟ E-RABToBeSetupListCtxtSUReq: 1 item
        ⊟ Item 0: id-E-RABToBeSetupItemCtxtSUReq
          ⊟ ProtocolIE-SingleContainer
              id: id-E-RABToBeSetupItemCtxtSUReq (52)
              criticality: reject (0)
            ⊟ value
              ⊟ E-RABToBeSetupItemCtxtSUReq
                  e-RAB-ID: 5
                ⊟ e-RABlevelQoSParameters
                    qCI: 9
                  ⊞ allocationRetentionPriority
                  0... .... Extension Present Bit: False
                ⊞ transportLayerAddress: ac1e1011 [bit length 32, 1010 1100
                  gTP-TEID: 01e8aab8
```

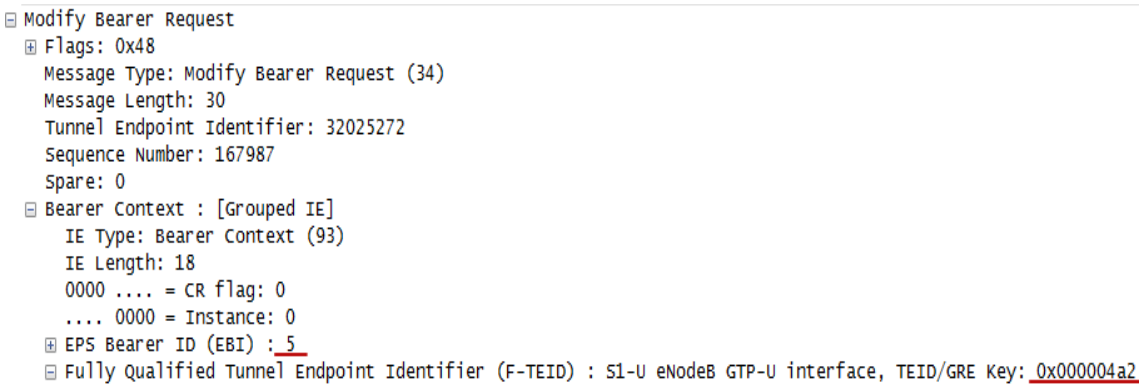
Obr. 5.31: Zpráva„Initial context setup request“ zachycená v síti FEKT

```
⊟ UE-EUTRA-Capability
    accessStratumRelease: rel9 (1)
    ue-Category: 3
  ⊞ pdcp-Parameters
  ⊞ phyLayerParameters
  ⊟ rf-Parameters
    ⊟ supportedBandListEUTRA: 6 items
      ⊟ Item 0
        ⊟ SupportedBandEUTRA
            bandEUTRA: 1
            ..0. .... halfDuplex: False
      ⊟ Item 1
        ⊟ SupportedBandEUTRA
            bandEUTRA: 2
            .0.. .... halfDuplex: False
      ⊟ Item 2
        ⊟ SupportedBandEUTRA
            bandEUTRA: 4
            0... .... halfDuplex: False
      ⊟ Item 3
        ⊟ SupportedBandEUTRA
            bandEUTRA: 5
            .... ...0 halfDuplex: False
      ⊟ Item 4
        ⊟ SupportedBandEUTRA
            bandEUTRA: 7
            .... ..0. halfDuplex: False
      ⊟ Item 5
        ⊟ SupportedBandEUTRA
            bandEUTRA: 17
            .... .0.. halfDuplex: False
```

Obr. 5.32: Část zprávy „ue capability info“ zachycené v síti FEKT



Obr. 5.33: Část zprávy„Initial Context Setup Response“ zachycené v síti FEKT



Obr. 5.34: Zpráva„Modify bearer request“

Nyní je nutné, aby MME informoval HSS o vykonaných procesech pro konkrétního uživatele. Vyšle tedy zprávu Notify Request. Pokud by však byla dříve vykonána procedura aktualizace polohy, nebyl by tento proces nutný, jelikož by se tyto informace o uživatele předaly během procesu aktualizace polohy. Z Obr. 5.27 vyplývá, že k aktualizaci polohy dojde hned po informování HSS. Tím pádem už není potřebné, aby MME posílalo znovu informace HSS, neboť je tento uzel už má. Vidíme také opakované požadavky o aktualizaci polohy, které jsou generovány každých deset vteřin, ikdyž se mobilní zařízení nepohybovalo. Ačkoliv se může zdát, že se jedná o periodickou aktualizaci, tak to mu tak není. Jelikož deset vteřin není nastaveno sítí jako časovač pro periodickou aktualizaci. Terminál opakovaně posílá žádost o aktualizaci polohy terminálu, jelikož mu síť v každé odpovědi dává najevo, že kombinované připojená do sítě 2G/3G není možné. Více o této problematice bude popsáno v kapitole 5.2.5.

Dle teorie by na Obr. 5.27 měla být vidět i odpověď na zprávu Attach request a na aktualizaci polohy. Tyto zprávy se však nepodařilo kvůli šifrování dekódovat a na jsou schovány ve zprávách označených jako idDownlink/uplinkNAStransport.

Pokud je uživatel nějakou dobu neaktivní (negeneruje, nepřijímá data), uvolní se zdroje přiřazené na rozhraní S1, viz Obr. 5.35. Základnová stanice tedy posílá uzlu MME žádost o uvolnění spoje pro daného účastníka.

Obr. 5.35: S1 release procedure v síti FEKT

MME nyní zařídí uvolnění GTP tunelů, které byly sestaveny dříve. Například ve zprávě ReleaseAccessBearersResponse (Obr. 5.36) je vidět identifikátor TEID ($8006DE05_{hex}$), který byl přenášen ve zprávě CreateSessionRequest, viz Obr. 5.29.

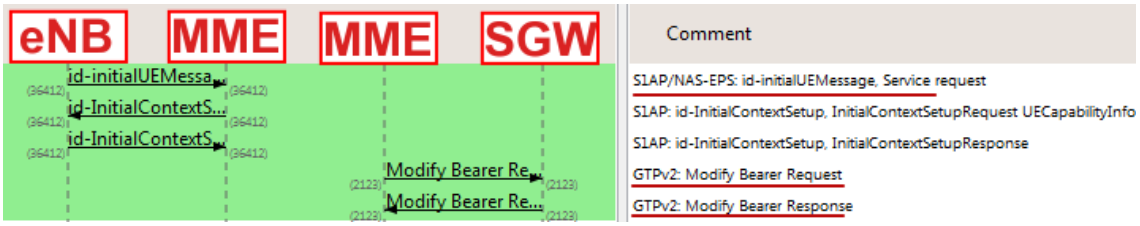
```
Release Access Bearers Response
  Flags: 0x48
  Message Type: Release Access Bearers Response (171)
  Message Length: 19
  Tunnel Endpoint Identifier: 2147933701
  Sequence Number: 168006
  Spare: 0
```

Obr. 5.36: Release Access Bearers Response v síti FEKT

Poté ještě MME pošle eNodeB požadavek na uvolnění dříve rezervovaných prostředků pro terminál. Uzel eNodeB tedy uvolní své zdroje určené pro daného uživatele a zašle požadavek na uvolnění zdrojů i terminálu.

5.2.3 Žádost o službu, nepovedený handover a odhlášení ze sítě FEKT

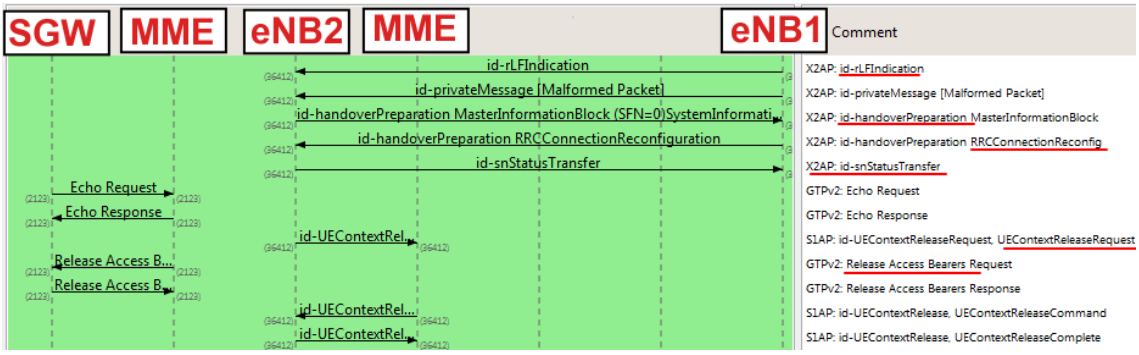
V případě, kdy uživatel chce vykonávat nějakou službu, například služby poskytované prostřednictvím internetu, UE přechází do stavu CONNECTED. Je nutné opět sestavit nosič. Zachycená signalizace v takovém případě je zobrazena na Obr. 5.37. Poté co základnová stanice přepošle žádost o službu (zpráva Service Request), tak uzel MME opět zprostředkuje rozeslání jednotlivých TEID identifikátorů eNodeB tak i SGW a sestaví se nosič pro službu internet.



Obr. 5.37: Sestavení nosiče pro internet v síti FEKT

Zajímavá situace nastala při přechodu z pokrytí buňky patřící stanici eNB2 do oblasti pokryté buňkou patřící eNB1. Významnou roli zde hrálo, že měření bylo provedeno až ve druhém poschodí, kde už není tak kvalitní signál jako přímo u zdroje v pátém poschodí. Naměřená signalizace je zachycena na Obr. 5.38. První zaslaná zpráva (Obr. 5.39) nám indikuje selhání rádiového spoje s předchozí buňkou, jejíž PCI = 22 (spadá pod eNB2). Dále je ve zprávě určen identifikátor eNB1,kterému terminál sdělil informace o selhání spojení s eNB2. Selhání spojení nastalo, jelikož by handover

vyvolán až po selhání komunikace mezi UE a eNB2

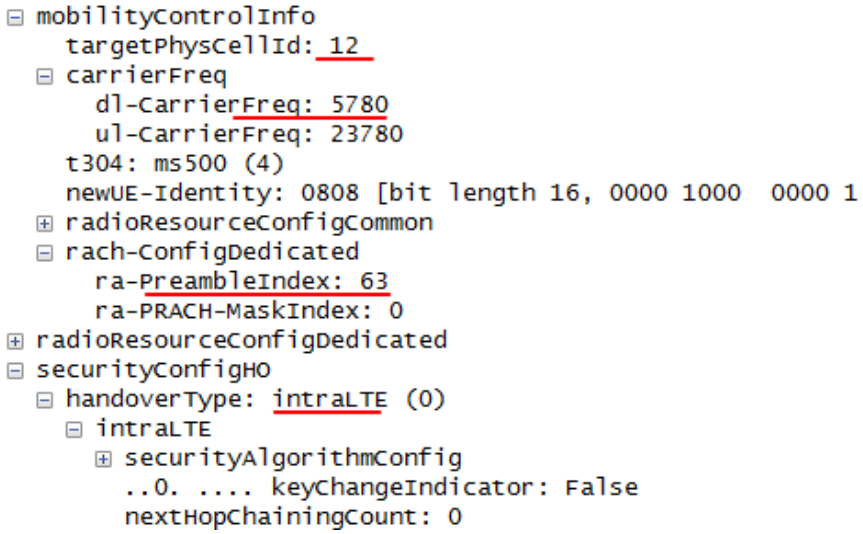


Obr. 5.38: Neúspěšný a pozdě vyvolaný X2 handover v síti FEKT

```
procedureCode: id-rLFIndication (13)
criticality: ignore (1)
value
  RLFIndication
    protocolIEs: 4 items
      Item 0: id-FailureCellPCI
        ProtocolIE-Field
            id: id-FailureCellPCI (48)
            criticality: ignore (1)
          value
              PCI: 22
      Item 1: id-Re-establishmentCellECGI
        ProtocolIE-Field
            id: id-Re-establishmentCellECGI (49)
            criticality: ignore (1)
          value
            ECGI
                pLMN-Identity: 32f094
                Mobile Country Code (MCC): Czech Republic (230)
                Mobile Network Code (MNC): Unknown (49)
                eUTRANcellIdentifier: 004570c0 [bit length 28, 4
```

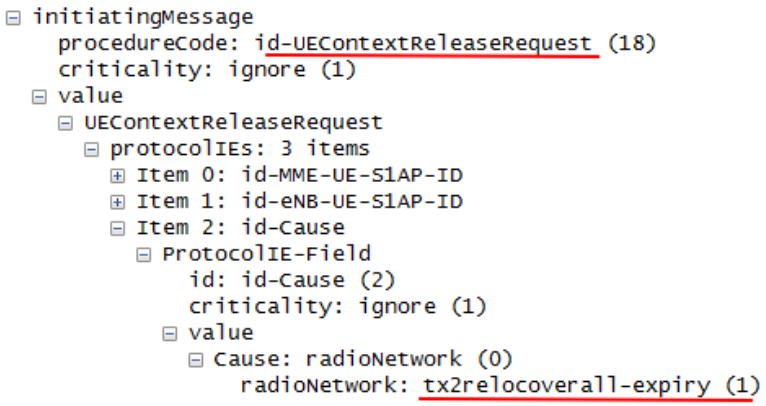
Obr. 5.39: RadioLinkFailure indication v síti FEKT

Ve zprávě Handover Preparation (Obr. 5.40) posílá eNB2 informace o uživateli, jeho sestavených nosičích a další informace pro sestavení nutných zdrojů. Následuje odpověď eNB1, ve které už je zmíněno cílové PCI 12, cílové číslo kanálu 5780, preambleIndex 63 a že jde o handover typu INTRA tedy se jedná o stejnou frekvenci, na které byl terminál připojen před handoverem.



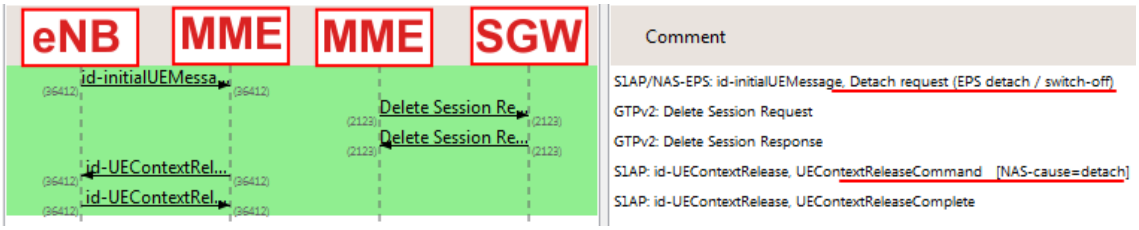
Obr. 5.40: RRC conection reconfig při handoveru v síti FEKT

Zpráva SNStatusTransfer obsahuje údaje o úspěšně přijatých datech pro terminál také o zatím nepotvrzených nebo také o jednotkách které dorazily mimo pořadí.Dále následuje žádost o uvolnění spojení (Obr. 5.41) ze strany eNodeB1 a to z toho důvodu, že vypršel časovač určený pro vykonání handoveru ze strany eNB1. Po této žádosti se tedy uvolní i na rozhraní S1 rezervované zdroje pro dříve vytvořený nosič. Jakmile se uvolní zdroje na rozhraní S1 požádá MME o uvolnění i RRC zdrojů v části E-UTRAN.



Obr. 5.41: UE Context Release z důvodu vypršení časovače

Poslední část naměřená v experimentální síti FEKT je odpojení terminálu od sítě, viz Obr. 5.42. Ze signalizace vyplývá, že eNB přeposílá žádost o odregistrování uživatele, a to z důvodu vypnutí terminálu (EPS Detach/Switch off). Tato zpráva vyvolá žádost o smazání všech nosičů (zpráva DeleteSessionRequest), které byly sestaveny pro daného uživatele. Na rozdíl od předchozího případu, kdy při nepovedeném handoveru byly uvolněny jen zdroje pro nosiče na určených rozhraních(zpráva ReleaseAccessBearers) nyní se jedná o celkové smazání všech vytvořených nosičů. Na konci této procedury MME pošle zprávu pro uvolnění zdrojů na úrovni eNB, jakmile tak základnová stanice učiní, pošle potvrzení zpět MME.



Obr. 5.42: Odpojení UE od sítě FEKT

5.2.4 Analýza X2 handoveru v EPC a LTE části sítě

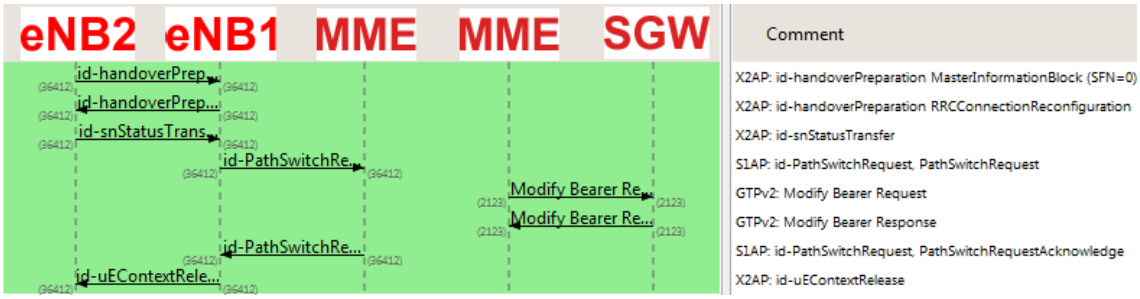
V této části bude popsána zachycená komunikace v části EUTRAN a EPC při uskutečnění tzv. X2 handoveru mezi dvěma eNodeB.

Naměřený X2 handover byl již naměřen v pátém poschodí, kde přijímaný signál od buněk byl tedy mnohem vyšší než v případě neúspěšného handoveru. Na Obr. 5.43je zachycena prvotní zpráva, která je na začátku celého handoveru. Je to měřící záznam naměřený terminálem, který byl poslán stanici eNB. V této zprávě je vidno, že přijímaná úroveň signálu z buňky jejíž PCI je rovno 12 je o 8 dBm kvalitnější než úroveň od servisní buňky.

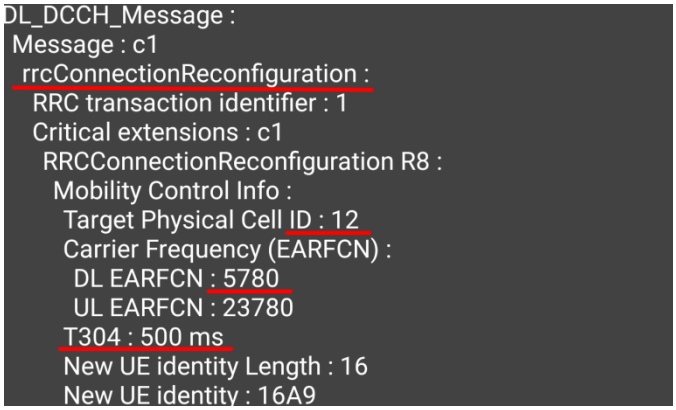
```
UL_DCCH_Message :
 Message : c1
  Measurement Report :
   Critical extensions : c1
    Measurement Report R8 :
     Measurement results :
      Measurement ID : 1
      measResultPCell :
       RSRP : [62d] -78 dBm
       RSRQ : [23d] -8 dB
      Measurement results neighbor cells :
       Measurement results list E-UTRA : 1
        Measurement :
         Physical cell ID : 12
         Measurement result :
          RSRP : [70d] -70 dBm
```

Obr. 5.43: Měřicí záznam od terminálu

Poté co eNB2 přijme tento report od UE, rozhodne o učinění handoveru (Obr. 5.44) a přepošle zprávu o handoveru cílové základnové stanici (eNB1). ENB1 reaguje potvrzením požadovaného handoveru a posílá potřebné informace UE pro úspěšné přepojení k eNB1 v rádiové části sítě. Část této zprávy je zobrazena na Obr. 5.45, kde jsou poskytnuty informace jako PCI buňky spadající pod eNB1, kanál na kterém se buňka nachází a časovač T304, který udává čas, za který musí dojít k úspěšnému přepojení (handoveru).



Obr. 5.44: X2 handover v síti FEKT



Obr. 5.45: Zpráva „RRC Connection Reconfiguration“ v síti FEKT

Dále zašle eNB2 zprávu stanici eNB1 o stavu přenosu paketů (dosud nepotvrzené pakety, pakety v nesprávném pořadí atd.). Jakmile dostane stanice eNB1 potvrzení od terminálu ohledně úspěšného přepojení, tak zažádá uzel MME o překonfigurování tunelu GTP od SGW právě k eNB1. V této zprávě posílá identifikátor GTP-TEID, který má být použit pro posílání dat ve směru k terminálu. Uzel MME posílá identifikátor nosiče, který přebírá od stanice eNB1 a přeposílá identifikátor konce tunelu GTP-TEID, viz Obr. 5.46.

```
⊟ EPS Bearer ID (EBI) : 5
    IE Type: EPS Bearer ID (EBI) (73)
    IE Length: 1
    0000 .... = CR flag: 0
    .... 0000 = Instance: 0
    0000 .... = Spare bit(s): 0
    .... 0101 = EPS Bearer ID (EBI): 5
⊟ Fully Qualified Tunnel Endpoint Identifier (F-TEID) : S1-U eNodeB GTP-U interface,
    IE Type: Fully Qualified Tunnel Endpoint Identifier (F-TEID) (87)
    IE Length: 9
    0000 .... = CR flag: 0
    .... 0000 = Instance: 0
    1... .... = V4: IPv4 address present
    .0.. .... = V6: IPv6 address not present
    ..00 0000 = Interface Type: S1-U eNodeB GTP-U interface (0)
    TEID/GRE Key: 0x00000a72
    F-TEID IPv4: 172.30.31.100 (172.30.31.100)
```

Obr. 5.46: Zpráva „Modify Bearer Request“ v síti FEKT

Uzel SGW zareaguje na tuto zprávu od MME smazáním zdrojů určených pro uživatele, které odkazují stálen na staré eNB2. Dále si upraví informace pro vytvoření tunelu ke správnému eNB a zasílá potvrzení společně s svým identifikátorem GTP-TEID pro vybudování tunelu ve směru od eNB k SGW (uplink).

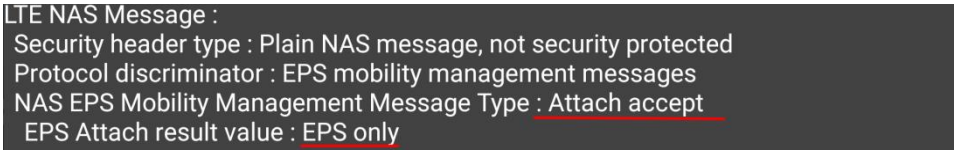
MME zprávu s identifikátorem GTP-TEID pro sestavení tunelu ve směru uplink přeposílá stanici eNB1. Ta si nakonfiguruje tento tunel a pošle zprávu eNB2 o úspěšném vykonání handoveru, čímž pro eNB2 vyplývá, že může uvolnit zdroje asociované s tímto uživatelem.

5.2.5 Analýza problému s konektivitou terminálu v síti FEKT

Po připojení Samsungu S6 edge+ do sítě FEKT se terminál v této síti udrží jen krátce a nakonec se z celé sítě odpojí a vyhledá si síť pro případné nouzové služby. Již dříve bylo zmíněno, že terminál vykonal tzv. kombinované připojení, ve kterém se předpokládá spolupráce s 2G/3G sítí.

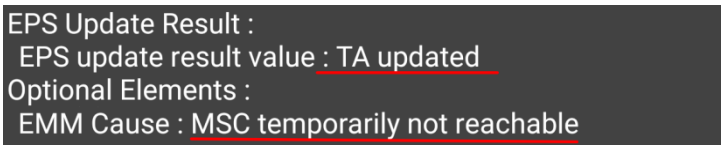
Program Wireshark bohužel nedokázal dekódovat odpověď na tuto zprávu a stejně tak nedokázal dekódovat odpověď na zprávu Tracking Area Update. Z minulých měření bylo jen zřejmé, že stanice posílá žádost o aktualizaci polohy velmi často a to přesně po deseti vteřinách. Pomocí zařízení s instalovaným softwarem QualiPoc se podařilo dekódovat odpovědi pro výše zmíněné zprávy a nalézt tak potvrzení, že zařízení se odpojí právě kvůli neexistující spolupráce sítě EPS se sítí 2G/3G.

Na Obr. 5.47 je zobrazen úryvek ze zprávy Attach Accept, která nám udává, že výsledek pro kombinované připojení do sítě EPS a 2G/3G je připojení jen do sítě EPS (EPS Attach result value: EPS only).



Obr. 5.47: Úryvek ze zprávy „Attach Accept“ v síti FEKT

Na dalším Obr. 5.48 je úryvek ze zprávy Tracking Area Accept, kde je zvýrazněn výsledek tedy, že poloha byla aktualizována ale ne pro síť 2G/3G. Atribut, kde síť oznamuje, že MSC je dočasně nedostupné se nachází i ve zprávě Attach Accept jen není zobrazen v předchozím úryvku zprávy.



Obr. 5.48: Zpráva „Tracking Area Accept“ v síti FEKT

Zařízení Samsung vyžaduje přenos hlasu v CS doméně a jeho primární využití je nastaveno pro hlas. Tyto informace byly zaslány ve zprávě Attach Request v atributech Voice Domain Preference a UE usage setting. Jakmile terminál obdrží pětkrát ve zprávě Attach Accept nebo ve zprávě Tracking Area Update Accept zmiňovanou informaci o nedostupnosti MSC, přestane se svou snahou o úspěšné kombinované připojení a

zakáže na nějaký čas podporu přístupové sítě E-UTRAN. Více o chování terminálu v takovém případě je popsáno v dokumentu od GSMA (GSM Association) [5].

6 LABORATORNÍ ÚLOHA

Nedílnou součástí diplomové práce je vytvořená laboratorní úloha pro předmět Komunikační prostředky mobilních sítí vyučovaný v magisterském navazovacím studiu oboru Telekomunikační a informační technika. Tato kapitola slouží jako představení cílů úlohy. Kompletní laboratorní úlohu je pak možné najít na přiloženém DVD, či v systému VUT jako přílohu diplomové práce.

Pro realizaci laboratorní úlohy byly využity naměřené a popsané informace z praktické části diplomové práce. Studenti si v rámci dané úlohy pomocí poskytnutého zařízení sami odchytí komunikace mezi UE a sítí. A následně plní zadané úkoly, za účelem porozumění proniknutí do daných procedur. Pro snadnější a přehlednější vykonání laboratorní úlohy je použit program TeamViewer za účelem propojení uživatelského zařízení Samsung S6 edge+ s PC.

Cílem úlohy je se seznámit studenty se základními řídicími procedurami v síti EPS prostřednictvím zachycení a následné analýzy řídicích zpráv na rádiovém rozhraní E-UTRA pomocí mobilního přístroje a softwarového nástroje QualiPoc. Komunikace bude zachytávána jak v experimentální síti FEKT, tak i v komerční síti. Absolvování úlohy poskytne i vhled, do principu realizace hovorové služby metodou Circuit Switched Fallback.

Požadavky na pracoviště:

Počítač s nainstalovaným softwarem Team Viewer, smartphone Samsung S6 edge + s nainstalovaným SW QualiPoc, karty SIM sítí FEKT a sítě veřejného operátora.

Dílčí úkoly laboratorní úlohy:

- seznámit se, se základními činnostmi mobilních terminálů v prostředí mobilních sítí obecně a speciálně v EPS,
- seznámit se s funkcemi nástroje pro analýzu signalizace – QualiPoc,
- měření v síti EPS veřejného operátora, realizace hlasové služby pomocí CSFB,
- měření v síti FEKT, analýza příčin problémů s konektivitou v síti FEKT, realizace služby a detekce HO
- analýza a porovnání naměřených dat mezi sítí FEKT a sítí veřejného operátora

7 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo hlouběji se seznámit s procedurami v síti EPS-IMS a proniknout do problematiky hovorové služby VoLTE. Nezbytná teorie pro pozdější vysvětlení komunikace mezi jednotlivými prvky v síti byla probrána v první a druhé kapitole. V první kapitole je tedy uvedena a popsána architektura systému EPS a také je zde vysvětlen princip pro poskytování podpory kvality služeb realizovaných účastníkem v síti EPS. Architektura subsystému IMS spolu s vysvětlením funkcí jednotlivých prvků v síti a způsobem identifikace uživatele v systému, je probrána v druhé části práce.

V rámci práce byly probrány řídicí procedury v síti EPS, mezi které patří následující procesy: inspekce rádiového prostředí, náhodná přístupová metoda, identifikace uživatele, autentizace uživatele, zahájení šifrování, aktualizace polohy terminálu, vytvoření defaultního nosiče, realizace hovorové služby metodou CSFB a odpojení terminálu od sítě.

Dále byla v práci věnována pozornost řešení hovorové služby metodou CSFB v síti EPS bez podpory VoLTE. Zde byl vysvětlen princip metody, její samotná realizace v síti a signalizace při uskutečnění hovorové služby touto metodou.

Velká část práce je zaměřena na hovorovou službu VoLTE. Hned na úvod je zde prodiskutována problematika nasazení služby VoLTE do současných sítí a s tím související podpora jen specifikovaných zařízení pro tuto službu. Dále zde byly probrány procesy související právě se službou VoLTE a subsystémem IMS, jedná se o následující procedury: registrace uživatele do IMS, vytvoření nosiče pro signalizaci v IMS a realizace hovorové služby VoLTE.

Všechny výše zmíněné procedury s výjimkou těch, které se týkají subsystému IMS byly pak v reálném provozu zachyceny pomocí softwaru Wireshark a QualiPoc. Měření proběhlo v E-UTRAN části sítě veřejného operátora, tak i v E-UTRAN části experimentální sítě FEKT a zde navíc i v části EPC. Následná signalizace byla poté analyzována a zpracována do diplomové práce. Měření řídicích procedur související se systémem IMS nebylo možné, jelikož uživatelské zařízení využito na měření není schopno spolupráce s danou IMS sítí veřejného operátora. IMS síť není dostupná i z experimentální sítě, kde přetrvávají komplikace se správnou implementací systému. Také se v této části nachází vysvětlení problému s konektivitou uživatelských zařízení v experimentální síti FEKT a analýza X2 handoveru mezi dvěma eNodeB v síti FEKT.

Nedílnou součástí práce je vytvořená laboratorní úloha pro předmět MKPM. V této úloze jsou využity dřívější naměřené informace jak ze sítě veřejného operátora, tak z experimentální sítě FEKT. Úloha je postavena, tak aby si řešitel komunikaci mezi UE a sítí sám naměřil a později zanalyzoval.

,

LITERATURA

[1] COX, Christopher. *An introduction to LTE LTE, LTE-advanced, SAE, VoLTE and 4G mobile communications*. Second edition. West Sussex, England: John Wiley, 2014. ISBN 978-1-118-81802-2.

[2] CSFB circuit-switch-fall-back. In: Slideshare [online]. 2016 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: http://image.slidesharecdn.com/csfbcircuitswitchfallback-160830151505/95/csfb-circuit-switch-fall-back-2-638.jpg?cb=1472570137

[3] CSFB – MTRR. In: LTE university [online]. 2013 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: http://lteuniversity.com/get_trained/expert_opinion1/b/ramesh2/archive/2013/06/21/csfb-mtrr.aspx

[4] Default Bearer Setup. In: *Knowledge Base* [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: https://sites.google.com/site/amitsciscozone/home/lte-notes/default-bearer-setup

[5] *Enhancing Mobile Network Efficiency - Recommendations for Devices Version 1.0* [online]. 2014(Version 1.0) [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: http://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads//TS.28-v1.0.pdf

[6] ETSI TS 123 003 [online]. 2012, (V10.5.0) [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/123000_123099/123003/10.05.00_60/ts_123003v100500p.pdf

[7] E2E VoLTE call setup(1/4) : Initial attach and default EPS bearercreation. In: *Red Mouse* [online]. 2015 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: http://hongjoo71-e.blogspot.cz/2015/07/e2e-volte-call-setup14-initial-attach.html

[8] Gx interface - sitting between PCRF and PCEF. In: *LTE AND BEYOND* [online]. Budapešť, 2012 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: http://www.lteandbeyond.com/2012/01/gx-interface-sitting-between-pcrf-and.html

[9] IMS Accenture. In: *Università degli Studi di Napoli Federico II* [online]. Napoli: Università Federico II, 2007 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: http://wpage.unina.it/rcanonic/didattica/at/lucidi_2007/AT_2006-07_IMS_Accenture.pdf

[10] *IMS Architecture* [online]. Sunnyvale, 2014 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: https://www.spirent.com/~/media/White%20Papers/Mobile/IMS_Architecture_White_Paper.pdf

[11] *IMS Profile for Voice and SMS* [online]. 2013, (7.0) [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: http://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads/2013/04/IR.92-v7.0.pdf

[12] *IMS Profile for Voice and SMS* [online]. 2015, (9.0) [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: http://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads/IR.92-v9.0.pdf

[13] IP Multimedia Subsystem. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. 2016 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/IP_Multimedia_Subsystem

[14] K čemu je mobilním operátorům technologie VoLTE? In: *Jiří Peterka: Archiv článků a přednášek Jiřího Peterky* [online]. 2014 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: http://www.earchiv.cz/b14/b1023001.php3

[15] Lte Random Access Procedure. In: *Call Flow Sequence Diagram Based Modeling* [online]. 2015 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: https://www.eventhelix.com/lte/random-access-procedure/lte-random-access-procedure.pdf

[16] MIB(Master Information Block). In: *ShareTechnote* [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: http://www.sharetechnote.com/html/Handbook_LTE_MIB.html

[17] *Mobile and wireless technologies*. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2016. ISBN 978-981-1014-086.

[18] Mobile Station Roaming Number. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Wikimedia Foundation, 2014 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Mobile_Station_Roaming_Number

[19] Mobile Terminated Roaming Retry for LTE CSFB. In: *Radio Access* [online]. 2012 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: http://radioaccess.blogspot.cz/2012/12/mobile-terminated-roaming-retry-for-lte.html

[20] Multimedia telephony. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Wikimedia Foundation [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Multimedia_telephony

[21] Novotný V., Krkoš R., Šedý J., Mobilní experimentální síť LTE-WiFi-EPC-IMS na FEKT VUT Brno. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta Elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015.

[22] Primary and secondary synchronization signals (PSS & SSS) in LTE. In: *All about Wired and Wireless Technology* [online]. 2012 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: http://www.simpletechpost.com/2012/06/primary-and-secondary-synchronization.html

[23] Random Access Procedure Rach in LTE. In: *All about Wired and Wirelles Technology* [online]. 2013 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: http://www.simpletechpost.com/2013/04/random-access-procedure-rach-in-lte.html

[24] RRC Connection Setup Complete. In: *How LTE Stuff Works?* [online]. 2011 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: http://howltestuffworks.blogspot.cz/2011/10/rrc-connection-setup-complete.html

[25] TA borders. In: 3GPP [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: http://www.3gpp.org/local/cache-vignettes/L400xH245/ta_borders-a37b9.jpg

[26] Third party registration. In: *Real Time Communication* [online]. 2014 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: https://realtimecommunication.wordpress.com/2014/11/17/third-party-registration/

[27] The VOLTE "Conversation" Between IMS and LTE. In: *LTE university* [online]. 2012 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: http://lteuniversity.com/get_trained/expert_opinion1/b/bbest/archive/2012/12/17/the-volte-conversation-between-ims-and-lte.aspx

[28] POIKSELKÄ, Miikka. a Georg MAYER. *The IMS: IP multimedia concepts and services*. 3rd ed. Chichester, U.K.: Wiley, 2009. ISBN 04-707-2196-0.

[29] POIKSELKÄ, Miikka. *The IMS: IP multimedia concepts and services*. 2nd ed. Hoboken, NJ: J. Wiley, c2006. ISBN 978-047-0019-061.

[30] POIKSELKÄ, Miikka. *Voice over LTE: VoLTE*. Chichester: Wiley, 2012. ISBN 978-1-119-95168-1.

[31] QoS in LTE/EPS. In: *MobTech* [online]. 2009 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: http://thetelecomsblog.blogspot.cz/2009/11/qos-in-lteeps.html

[32] QoS_Class_Identifier. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: QoS_Class_Identifier

[33] *Signalizace v IMS (Internet Protocol Multimedia Subsystem)*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikační technologií, 2016.

[34] *VoLTE Service Description and Implementation Guidelines* [online]. 2014, (2.0) [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: http://www.gsma.com/network2020/wp-content/uploads/2014/10/FCM.01-VoLTE-Service-Description-and-Implementation-Guidelines-Version-2.0.pdf

[35] VoLTE: Understanding of GTP TEID to use in LTE trouble shooting. In: *Red Mouse* [online]. 2015 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: http://hongjoo71-e.blogspot.cz/2015/06/volte-gtp-teid_17.html

[36] What is significance of Synchronization signals in LTE? In: *Telecom Source* [online]. 2011 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: http://www.telecomsource.net/showthread.php?3122-What-is-significance-of-Synchronization-signals-in-LTE

[37] *3GPP TS 24.301* [online]. 2011-2016(V8.10.0) [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/24_series/24.301/24301-8a0.zip

SEZNAM ZKRATEK

3GPP	Third Generation Partnership Project
AAA	Authentication, authorization and accounting
AAR	Authorize/Authenticate-Request
APN	Access Point Name
APN-AMBR	Per APN aggregate maximum bit rate
ARP	Allocation and Retention Priority
AS	Application Server
AUTN	Authentication Token
CCA	Credit Control Answer
S-CSCF	Serving-Call Session Control Function
C-RNTI	Cell Radio Network Temporary Identity
CRS	Cell Specific Reference Signal
CSFB	Circuit Switched Fallback
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DLSCH	Downlink Shared Channel
DSL	Digital Subscriber Line
ECGI	E-UTRAN Cell Global Identifier
eNodeB	evolved Node B
EARFCN	EUTRA Absolute Radio-Frequency Number
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
EMM	EPS Mobility Management
E-RAB	Evolved - Radio Access Bearer
E-UTRAN	Evolved - Universal Terrestrial Access Network
GBR	Guaranteed Bit Rate
GMSC	Gateway Mobile Switching Centre
HSS	Home Subscriber Server
ICID	IMS Charging ID
I-CSCF	Interrogating Call Session Control Function
IMS	IP Multimedia Subsystem
IMSI	International Mobile Subscriber Identity

IP	Internet Protocol
IPSec	Internet Protocol security
ISIM	IP multimedia services identity module
LA	Location Area
LBI	Linked EPS Bearer Identity
LTE	Long Term Evolution
MBR	Maximum Bit Rate
MCC	Mobile Country Code
MIB	Master Information Block
MME	Mobile Management Entity
MMTEL	Multimedia Telephony Services
MNC	Mobile Network Code
MSC	Mobile Switching Centre
PBCH	Physical Broadcast Channel
PCFICH	Physical Control Format Indicator Channel
PCCH	Physical Control Channels
PCI	Physical Cell Identity
PCRF	Policy control and Charging Rules Function
PDCCH	Physical Downlink Shared Channels)
P-CSCF	Proxy Call Session Control Function
P-GW	Packet data network Gateway
PHICH	Physical Hybrid-ARQ Indicator Channel
PRACK	Provisional Response ACKnowledgment
PRACH	Physical Random Access Channel
PSC	Primary Scrambling Code
PSS	Primary Synchronization Signal
PSTN	Public Switching Telephone Network
QCI	QoS class identifier
QoS	Quality of Services
RA-RNTI	Random Access - Radio Network Temporary Identifier
RAR	Re-Auth-Request
RES	Response
RRC	Radio Resource Control
S-GW	Serving Gateway

SIB	System Information Blocks
TA	Tracking Area
TAI	Tracking Area Identity
TAS	Telephony Application Server
TEID	Tunnel Endpoint IDentifier
TFT	Traffic Flow Template
TMSI	Temporary Mobile Subscriber Identity
UE	User Equipment
UE-AMBR	User Equipment - Aggregate Maximum Bit Rate
UICC	Universal Integrated Circuit Card
UL-SCH	Uplink-Shared Channel
USIM	Universal Subscriber Identity Module
VoLGA	Voice over LTE via Generic Access
WLAN	Wireless Local Area Network
XRES	Expected RESponse

SEZNAM PŘÍLOH

A OBSAH PŘILOŽENÉHO DVD

Na přiloženém DVD. je uložena samotná laboratorní úloha i se souborem, který obsahuje správné řešení této úlohy. Nakonec se na DVD nachází elektronická verze bakalářské práce ve formátu pdf.